

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

JADE CAVALCANTI MACEDO

SIMULAÇÃO DO ATENDIMENTO DE CAMINHÕES NO CICLO OPERACIONAL DO  
PORTO ITAPOÁ

Joinville

2019

JADE CAVALCANTI MACEDO

SIMULAÇÃO DO ATENDIMENTO DE CAMINHÕES NO CICLO OPERACIONAL DO  
PORTO ITAPOÁ

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia de Transportes e Logística do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Christiane Wenck Nogueira Fernandes.

Joinville

2019

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à minha família. Aos meus pais pelo suporte financeiro e emocional. Por cada detalhe de amor e cuidado que tornou esta caminhada possível. A todos os meus familiares, vivos ou não, meu maior respeito por tudo o que viveram e conquistaram ao longo de suas vidas para que eu pudesse estar aqui hoje.

Aos meus amigos, meninas do Okiver, grupo de mulheres que me inspiram por suas conquistas. Aos Brodinhos, com vocês aprendi sobre dedicação e comprometimento sem perder a oportunidade de se divertir no caminho. Aos amigos que fiz através da ESATI, vocês foram a mistura de amadurecimento, equipe, liderança, inspiração, motivação e amizade de uma vez só. Vê-los crescer é sempre uma inspiração pra mim. Finalmente aos amigos AAL, amigos do último suspiro da faculdade, que tanto foi, e ainda é, meu centro de inspiração diário sobre crescimento e evolução em conjunto.

Não posso deixar de agradecer ao Porto Itapoá e todos os profissionais que despenderam do seu tempo para me ajudar a tornar este projeto possível, pelas incontáveis oportunidades que tive e ainda tenho. À Marja, minha chefe querida, que tanto me instiga e inspira, obrigada pela confiança, conselhos e oportunidades. Ao PPEI, que com muita paciência respeitaram minha individualidade, me ajudam a crescer como profissional e me deram muito apoio neste difícil momento de conciliar universidade e trabalho. Com vocês aprendo diariamente.

À UFSC, a qualidade desta instituição pública que tornou possível minhas atuais e futuras conquistas profissionais. Aos grandes professores que tive, principalmente à minha orientadora Christiane, que soube me tranquilizar em momentos difíceis, foi prática e direta para nortear minha execução deste trabalho.

Por fim, agradeço à todos os envolvidos nestes anos da minha vida que direta ou indiretamente me ajudaram para o meu crescimento pessoal e profissional.

*“Eu não sei qual é o motivo dessa supervalorização da racionalidade.  
Os pássaros só são livres porque podem voar. A liberdade é,  
justamente, a incapacidade de se perceber as limitações.”*

Frida Kahlo

## RESUMO

O desenvolvimento do setor portuário apresenta consigo novos desafios para o crescimento operacional diante de uma economia cada vez mais globalizada e conectada. Quanto maior a infraestrutura portuária, maior o porte para movimentação de contêineres e, conseqüentemente, maior a demanda de caminhões na entrada terrestre do porto. A acessibilidade náutica sofre com atraso das operações de dragagem, enquanto o acesso terrestre é prejudicado pela precariedade do sistema de transportes e a ausência de redes intermodais. O ciclo operacional consiste na seqüência de atividades para o recebimento ou entrega de carga no porto, sendo ele terrestre, náutico ou qualquer outra atividade operacional. Desta forma, este trabalho busca fazer uma análise do acesso terrestre do Porto Itapoá através da simulação processo de atendimento dos caminhões no ciclo operacional do porto com o uso do *software* Arena. Através do mapeamento do processo, tratamento de dados e uso de indicadores, o presente trabalho simula diferentes cenários para o auxílio na tomada de decisões na gestão do terminal.

**Palavras-chave:** Simulação. Mapeamento de Processo. Portos. Arena.

## **ABSTRACT**

The development of the port sector presents new challenges for operational growth in the face of an increasingly globalized and connected economy. The greater the port infrastructure, the larger the container handling capacity and, consequently, greater the demand for trucks at the land entrance of the port. Nautical accessibility is delayed in dredging operations, whereas land access is hampered by the precarious nature of the transport system and the absence of intermodal networks. The operational cycle consists of the sequence of activities for the reception or delivery of cargo in the port, being it land, nautical or any other operational activity. This work seeks to make an analysis of the land access of the Itapoá Port through the simulation process of servicing the trucks in the operational cycle of the port using the Arena software. Through the process mapping, data processing and use of indicators, the present work simulates different scenarios to assist the decision making in the terminal management.

**Keywords:** Simulation. Process Mapping. Ports. Arena.

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Meses de maior movimentação de contêineres.....	47
Gráfico 2 - Média de chegadas mensal ao longo de um dia.....	47
Gráfico 3 – Quantidade de caminhões que acessaram o terminal no mês de novembro.....	48
Gráfico 5 - Média de movimentações de contêineres nos navios.....	49
Gráfico 6 - Proporção de caminhões em picos de chegada dentro da janela.....	57
Gráfico 7 - Chegada de caminhões com janela de 2 horas.....	58
Gráfico 8 - Chegada de caminhões com janela de 3 horas.....	60

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases de expansão da infraestrutura do Porto Itapoá.....	13
Figura 2 - Metodologia para simulação de processos.....	14
Figura 3 - Metodologia do presente trabalho.....	15
Figura 4 - Ilustração de um terminal portuário concentrando terminais marítimos .....	18
Figura 5 - Classificação funcional das cargas marítimas .....	21
Figura 6- Classificação funcional de contêineres .....	23
Figura 7 - Estrutura básica de representação de modelagem de processo.....	27
Figura 8 – Relação entre tarefa, atividade e processo .....	28
Figura 9 - Modelagem da situação atual.....	30
Figura 10 - Modelagem situação desejada .....	31
Figura 11 - Classificação dos sistemas .....	33
Figura 12 – Modelo básico Arena. ....	36
Figura 13 – Módulo <i>create</i> do Arena .....	37
Figura 14 - Módulo <i>process</i> do ARENA.....	38
Figura 15 – Módulo <i>Assign</i> .....	39
Figura 16 – Módulo <i>Decide</i> .....	39
Figura 17 - Módulo <i>Dispose</i> do ARENA. ....	40
Figura 18 - Acesso de caminhões ao terminal do Porto de Itapoá .....	42
Figura 19 - Informativo para organização dos caminhões que chegam no terminal.....	43
Figura 20 - Divisão da rua B1 para recebimento de caminhões.....	44
Figura 21 - Representação do sistema de atendimento do <i>gate</i> .....	46
Figura 22 - Mapeamento do processo de Ciclo de atendimento de caminhões no Porto Itapoá .....	45
Figura 23 – Distribuição de chegada dos caminhões pela ferramenta <i>Input Analyzer</i> do Arena .....	50
Figura 24 – Distribuição de chegada de caminhões antecipados .....	51
Figura 25 – Escolha da quantidade de <i>Resource</i> no módulo <i>Process</i> .....	52
Figura 26 – Módulo <i>Assign</i> para cada processamento de uma entidade .....	53
Figura 27 – Modelo de Atendimento de Caminhões no Ciclo Operacional do Porto Itapoá no <i>Software Arena</i> .....	54



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificações portuárias por atribuição de critérios .....	19
Tabela 2 - Pontuação total obtida pelos <i>softwares</i> de simulação .....	35
Tabela 3 - Janela de horários para possíveis agendamentos da chegada dos caminhões .....	42
Tabela 4 – Média de movimentação de caminhões .....	49
Tabela 5 – Funções de chegada para o módulo create .....	51
Tabela 6 - Distribuições de atendimento .....	52
Tabela 7 - Resultado da simulação para caminhões antecipados .....	55
Tabela 8 - Resultado da simulação para caminhões previstos.....	55
Tabela 9 - Resultado da simulação para caminhões de retirada de vazios.....	56
Tabela 10 – Proporção de caminhões em picos de chegada dentro da janela .....	57
Tabela 11 – Funções de chegada para o cenário 1 .....	59
Tabela 12 – Resultados da simulação de caminhões antecipados para o cenário 1 .....	59
Tabela 13 - Resultados da simulação de caminhões previstos para o cenário 1 .....	59
Tabela 14 - Resultados da simulação de caminhões de retirada de vazios para o cenário 1 ....	59
Tabela 15 - Funções de chegada para o cenário 2 .....	61
Tabela 16 - Resultados da simulação de caminhões antecipados para o cenário 2 .....	61
Tabela 17- Resultados da simulação de caminhões previstos para o cenário 2 .....	61
Tabela 18 - Resultados da simulação de caminhões de retirada de vazios para o cenário 2 ...	61
Tabela 19 – Número de equipamentos para operação fase 3 de expansão.....	62
Tabela 20 - Resultados da simulação de caminhões antecipados para o cenário 3 .....	62
Tabela 21- Resultados da simulação de caminhões previstos para o cenário 3 .....	62
Tabela 22 - Resultados da simulação de caminhões de retirada de vazios para o cenário 3 ....	63
Tabela 23 – <i>Input</i> de dados para a simulação do cenário 4 .....	63
Tabela 24- Resultados da simulação de caminhões antecipados para o cenário 4.....	63
Tabela 25 - Resultados da simulação de caminhões previstos para o cenário 5 .....	64
Tabela 26 - Resultados da simulação de caminhões de retirada de vazios para o cenário 4....	64

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

RTG	<i>Rubber Tires Gantries</i>
RORO	<i>Roll on Roll off</i>
ANTAq	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
MTY	<i>Empty</i> - Contêiner vazio (sem carga)
FCL	<i>Full Container Load</i> - Contêiner cheio (com carga)
ONU	Organização das Nações Unidas
TEUS	<i>Twenty-foot Equivalent Unit</i>
GNL	Gás Natural Liquefeito
RS	<i>Reach Stackers</i>
TT	<i>Terminal Tractors</i>
OCR	<i>Optical Character Recognition</i>

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	12
1.2	OBJETIVOS .....	12
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>13</b>
1.3	JUSTIFICATIVA .....	13
1.4	METODOLOGIA .....	14
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	16
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1	OPERAÇÃO PORTUÁRIA .....	17
<b>2.1.1</b>	<b>Tipos de navios de transporte de cargas</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Cargas marítimas</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Pátio de armazenagem</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Processo operacional</b> .....	<b>25</b>
2.2	MODELAGEM DE PROCESSOS .....	26
2.3	SIMULAÇÃO .....	32
<b>2.3.1</b>	<b>Simulação de eventos discretos</b> .....	<b>33</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Softwares de Simulação</b> .....	<b>34</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Aplicações do Arena em processos na área de transportes e logística</b> .....	<b>35</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Simulação de processos no Arena</b> .....	<b>36</b>
<b>3.</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>41</b>
3.1	ETAPA PLANEJAMENTO .....	41
<b>3.1.1</b>	<b>Formulação do problema</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Mapeamento do Processo</b> .....	<b>46</b>
3.2	ETAPA MODELAGEM .....	46
<b>3.2.1</b>	<b>Coleta e tratamento de dados dos relatórios obtidos pela empresa</b> .....	<b>46</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Simulação do sistema modelado no <i>software</i> Arena</b> .....	<b>50</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Validação do modelo</b> .....	<b>55</b>
3.3	ETAPA EXPERIMENTAÇÃO: SIMULAÇÃO DE DIFERENTES CENÁRIOS .....	57
<b>3.3.1</b>	<b>Cenário 1: Janela de agendamento de duas horas</b> .....	<b>57</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Cenário 2: Janela de agendamento de três horas</b> .....	<b>60</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Cenário 3: Terceira fase de expansão física do Porto Itapoá</b> .....	<b>62</b>

<b>3.3.4</b>	<b>Cenário 4: Área exclusiva para deixar as cargas .....</b>	<b>63</b>
<b>3.4</b>	<b>ETAPA CONCLUSÃO: ANÁLISE DOS CENÁRIOS.....</b>	<b>65</b>
<b>4.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>66</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Este capítulo introduz o tema e a problematização deste trabalho de conclusão de curso, bem como os objetivos a serem alcançados com este estudo e a justificativa de realizar uma simulação neste âmbito. Apresenta-se a metodologia aplicada e estrutura do trabalho em que segue este estudo.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O desenvolvimento do setor portuário apresenta consigo novos desafios. É possível destacar, no campo operacional, que a acessibilidade náutica sofre com atraso das operações de dragagem, enquanto o acesso terrestre é prejudicado pela precariedade do sistema de transportes e a ausência de redes intermodais (MONIÉ, 2011). Neste sentido, convém ressaltar a presença de gargalos que podem prejudicar o sistema portuário.

A chegada de caminhões para o carregamento ou descarregamento de cargas na entrada terrestre de um porto pode se tornar, através de alguns fatores, um gargalo operacional. Assim, a operação logística do estudo de caso deste trabalho consiste em atender os caminhões que são atendidos para descarregar ou carregar cargas, organizar a operação dentro do pátio para a movimentação desses caminhões e por fim, carregar e descarregar os navios. Para todos estes ciclos operacionais, deve ocorrer dentro do planejamento operacional e de um tempo pré-determinado.

Dentre as operações citadas, este trabalho visa realizar um estudo em cima do ciclo de atendimento terrestre, que é composto pelo atendimento dos caminhões na entrada terrestre e dentro do pátio operacional, através da entrada de *gates*, que dão acesso a esses caminhões.

Diante disso, este trabalho visa analisar o atendimento de caminhões no ciclo operacional terrestre do Porto Itapoá através do mapeamento de processos e simulação com o uso do *software* Arena.

### 1.2 OBJETIVOS

#### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é simular o processo de atendimento dos caminhões no ciclo operacional do Porto Itapoá no intuito de medir seu desempenho de serviço terrestre.

## 1.2.2 Objetivos Específicos

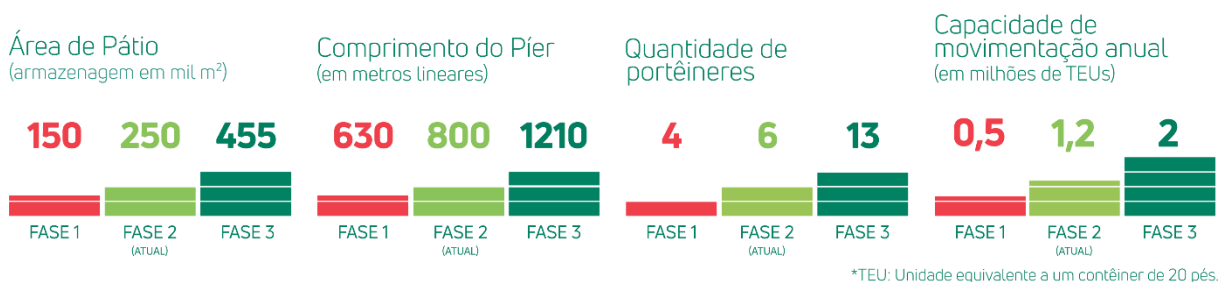
- Mapear o processo de atendimento de caminhões no terminal portuário em estudo;
- Coletar e tratar os dados do processo;
- Desenhar um modelo de cenário do terminal para simulação no software Arena;
- Analisar o processo baseando-se em indicadores de desempenho;
- Simular diferentes cenários para analisar o comportamento das variáveis no sistema.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

No campo operacional, o acesso às instalações portuárias continua problemático: a acessibilidade náutica sofre com o atraso das operações de dragagem enquanto o acesso terrestre é prejudicado pela precariedade do sistema de transporte e a ausência de redes intermodais. Outro dado preocupante é referente ao fato que os maiores portos já usam 90% de sua capacidade instalada, situação que exige soluções técnicas e gerenciais integradas que devem, por exemplo, considerar os impactos das obras sobre o meio ambiente e a qualidade de vida da população (MONIÉ, 2011, p. 13).

O Terminal Portuário em estudo, iniciou suas operações em junho de 2011 com uma infraestrutura capaz de movimentar 500 mil TEU's (um TEU equivale a um contêiner de 20 pés) por ano. O terminal está em processo de expansão física e operacional, e desde agosto de 2018 ampliou sua capacidade de movimentação anual para 1,2 milhões de TEU's. A fase final de ampliação prevê a movimentação de aproximadamente 2 milhões de TEU's e um píer de 1.210 metros, com a capacidade para 3 berços de atracação, considerando navios de até 366 metros (navios de grande porte) conforme a Figura 1 (PORTO ITAPOÁ, 2019).

Figura 1 - Fases de expansão da infraestrutura do Porto Itapoá



Fonte: Porto Itapoá (2019)

Quanto maior a infraestrutura portuária, maior sua capacidade para movimentação de contêineres e, conseqüentemente, maior a demanda de caminhões na entrada terrestre do porto. Segundo Paton (2014), a modelagem auxilia na tomada de decisão para o equilíbrio entre custo/tempo de serviço e custo/tempo de espera nas filas do processo. Neste sentido, se faz necessária implementação de modelagem para avaliar o comportamento das filas e tempos de atendimento de caminhões no ciclo operacional do Porto Itapoá bem como simular diferentes cenários para análise.

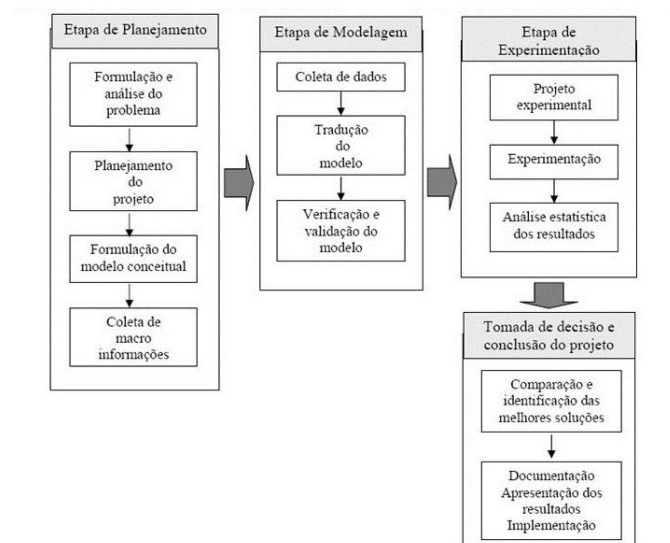
#### 1.4 METODOLOGIA

“A metodologia em um nível aplicado, examina, descreve e avalia métodos e técnicas de pesquisa que possibilitam a coleta o procedimento de informações, visando ao encaminhamento à resolução de problemas [...]” (PRODANOV; FREITAS, 2013, p.14).

A pesquisa quantitativa tenta fazer uma mensuração precisa de algo. Medem comportamento, conhecimento e atitudes. Normalmente com dados sob análise computadorizada e de amostragem probabilística (COOPER; SCHINDLER, 2016).

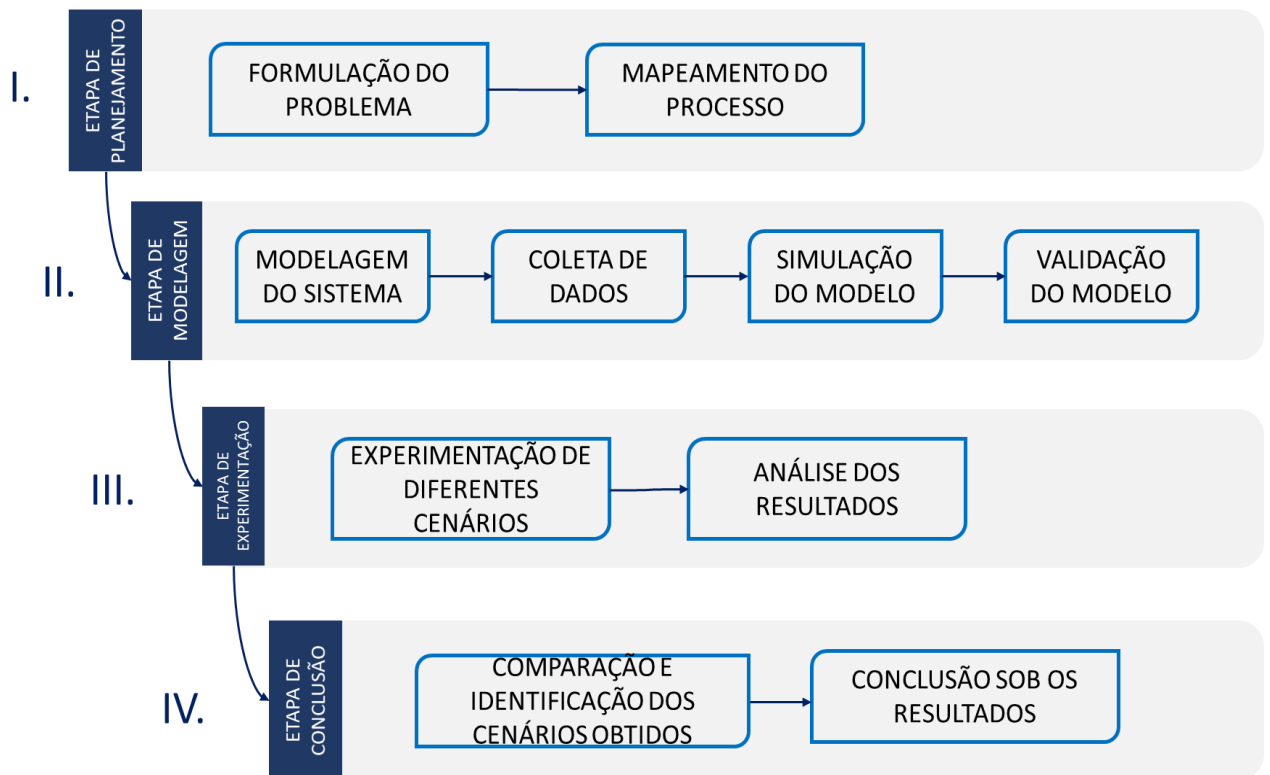
Este estudo apresenta caráter descritivo, sob pesquisa quantitativa e caracterizado como estudo de caso. A metodologia utilizada é adaptada de Freitas Filho (2008), que subdivide a resolução de um problema de modelagem em diferentes etapas, representado na Figura 2.

Figura 2 - Metodologia para simulação de processos



A metodologia deste presente trabalho está baseada nas quatro macroetapas de Freitas Filho (2008) e é apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Metodologia do presente trabalho



Fonte: Autora (2019).

As etapas apresentadas na metodologia utilizada neste presente trabalho são formadas pela seguinte estrutura:

- I. Etapa de Planejamento:
  - a. Formulação do problema para o atendimento de caminhões no processo operacional do Porto Itapoá;
  - b. Mapeamento do processo para compreender o fluxo de caminhões e o atendimento de cada etapa, além de obter uma visão holística do processo.
- II. Etapa de Modelagem:
  - a. Coleta e tratamento dos dados através de relatórios de desempenho operacional obtidos pela empresa;
  - b. Modelagem no software Arena;



- c. Validação do modelo para confirmar a credibilidade do sistema simulado.
- III. Etapa de Experimentação:
- a. Simulação de diferentes cenários do sistema simulado de acordo com as expectativas de redução de fila;
  - b. Análise dos resultados obtidos com a simulação.
- IV. Etapa de Conclusão:
- a. Comparação e identificação dos cenários obtidos, com identificação dos melhores cenários.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por quatro capítulos. O primeiro introduz, contextualiza, justifica e aponta os objetivos deste estudo. O segundo capítulo abrange o referencial teórico para compreensão da teoria de classificação e processos de operação portuária, contextualização da modelagem de processos e da simulação dos mesmos através de conceitos e algumas aplicações.

O terceiro capítulo condiz sobre o estudo de caso com a implementação da teoria apresentada no capítulo dois através da metodologia escolhida pela autora. Este capítulo aborda o passo a passo para a implementação da modelagem, a validação do modelo seguido de simulações de diferentes cenários para posterior análise.

O último capítulo levanta as considerações finais sobre o presente trabalho e para trabalhos futuros.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Considerado a espinha dorsal do comércio e da economia global pelo dirigente máximo da ONU, Ban Ki-moon, o transporte marítimo corresponde a mais de 90% do comércio internacional (ABRACOMEX, 2017).

As complexas cadeias produtivas em escala mundial geram cadeias logísticas igualmente complexas e dispersas para o abastecimento e escoamento de insumos e produtos. Assim, o porto é o elo mais importante dessas cadeias logísticas quando as operações multimodais envolvem fluxos de longo curso para o comércio exterior, ou cabotagem, nos corredores regionalizados (BARAT *et al.*, 2007).

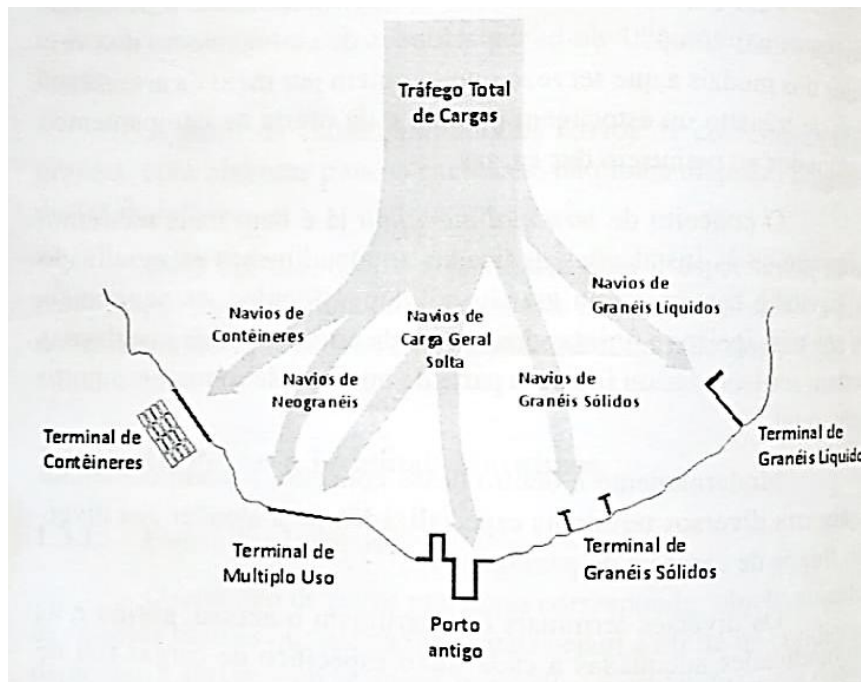
Neste sentido, este capítulo visa fundamentar conceitos de portos e terminais marítimos, mapeamento de processos, modelagem e simulação, abordar tópicos relevantes e referências para melhor compreensão dos temas abordados neste trabalho.

### 2.1 OPERAÇÃO PORTUÁRIA

Na área de transportes, a palavra terminal significa o início ou o fim de um ponto de transição de bens. Porém, na maioria dos casos de transportes intermodais, o ponto final de um transporte significa o início de outro. É por isso que terminais portuários devem ser definidos como um ponto de conexão (WATANABE, 2011).

Pode-se conceituar terminal portuário como uma área destinada ao atracamento de barcos e navios que possui serviços necessários ao carregamento e descarregamento de carga, ao estoque temporário deles e, em alguns casos, designados para acomodação de passageiros (MAGALHÃES, 2014). Já o conceito de terminal marítimo refere-se às instalações dedicadas ao atendimento especializado de navios e cargas, oferecendo assim um serviço adequado e específico por intermédio do meio de transporte terrestre que lhes sejam adequados (MAGALHÃES, 2014). Ou seja, um terminal portuário pode concentrar mais de um terminal marítimo, como representado na Figura 4, e um complexo portuário é a concentração de mais de um terminal portuário.

Figura 4 - Ilustração de um terminal portuário concentrando terminais marítimos



Fonte: Magalhães (2014, p. 36).

Grandes navios devem operar em grandes portos, em ampla profundidade de canal, deixando com que os navios menores, chamados de *feeder*, distribuam as cargas entre portos menores. Os portos de maior capacidade são referenciados como *hub ports* (portos centrais), e essa estrutura de interação com portos menores é classificada como *hub and spoke* (ALDERTON, 2008).

A infraestrutura portuária pode ser definida como o conjunto de instalações portuárias, de uso comum, colocadas à disposição dos usuários, operadores portuários e arrendatárias de um porto organizado, compreendendo entre a estrutura de proteção e acesso aquaviário, as vias de circulação interna, rodoviária e ferroviária, bem como dutos e instalações de suprimento do porto organizado ((PNLP), 2015).

O lado terrestre nas operações portuárias, também chamado de retroárea (*hinterland*), tem um papel de centro de serviços logísticos orientados aos clientes por executarem serviços específicos às cargas (NANIOPOULOS *et al.*, 2000). O tamanho da retroárea pode variar consideravelmente de um porto a outro devido a fatores como serviço de navio, tráfego portuário, qualidade de instalações e serviços portuários, tamanho e eficiência na rede de transporte terrestre, número de portos competindo pelo mesmo serviço (BICHOU, 2013).

A *foreland* de um porto diz respeito à influência geoeconômica externa do porto em relação ao mar. Dependendo do tipo de porto, ou terminal portuário, a *foreland* é bem definida,

bastando conhecer os portos com os quais estes se comunicam (BICHOU, 2013). De maneira simplificada é a área que deve receber os navios, para isso sua estrutura deve estar apta para a chegada deles.

Portos podem ser classificados entre porto de rede (*network port*), porto de transbordo (*transshipment port*) e porto alimentador (*feeder port*) (BICHOU, 2013):

- **Portos de redem** fornece alto valor agregado tanto para a carga quanto para o navio e gera tráfego no porto em ambos sentidos na área de *hinterland* e *foreland*. Dado o extensivo canal de distribuição, esses portos são comercialmente atrativos por oferecer baixo custo operacional unitário por navio;

- **Portos de transbordo** oferecem alto valor agregado aos serviços de navios, mas baixo valor agregado aos serviços de carga. São dedicados principalmente na operação navio-pier e fornecem um baixo tempo de serviço entre navios. São centro de concentração e distribuição de cargas;

- **Portos alimentadores** oferecem um baixo valor agregado em serviços de navios, mas não necessariamente para as cargas e precisam ser vinculados a portos de rede ou de transbordo. São como portos de suporte, e possuem serviços de navios *feeder*.

Terminais marítimos podem ser diferenciados por diferentes categorias, dependendo do critério atribuído para classificá-lo. Bichou (2013) aponta diferentes classificações portuárias por atribuição de critérios na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificações portuárias por atribuição de critérios

<b>Critério</b>	<b>Categoria</b>
<b>Tipo de carga/commodities</b>	Terminal de granel sólido, porto de granel líquido, porto de carga...etc
<b>Tipo de navio</b>	Terminal de balsa, Terminal RO-RO, Terminal de multiuso, Terminal de GNL ...etc
<b>Tipo de transação comercial</b>	Terminal de importação, Terminal de exportação, Terminal de trânsito, Terminal de transbordo
<b>Modelo de Propriedade</b>	Privado, Público, Público-privado
<b>Modelo de Gestão</b>	Autônomo, Corporativo, De Confiança
<b>Âmbito Geográfico</b>	Centralizado, descentralizado

Fonte: Adaptado de Bichou, 2013.

Os terminais portuários devem dispor de instalações de embarque e desembarque especializadas, considerando o tipo de navio (de acordo com seu comprimento, porte, calado) e o tipo de carga (de acordo com seu critério físico e forma de armazenamento) pois demanda estruturas distintas de atracação, transferência de bordo e exige espaços físicos no pátio para estocagem, distribuição, entrega e recepção para modais terrestres específicos (MAGALHÃES, 2014).

### **2.1.1 Tipos de navios de transporte de cargas**

Magalhães (2014) e Rodrigues (2007) classificam os principais navios segundo o tipo de cargas que transportam:

- Navios Cargueiros: Destinados ao transporte de carga geral solta;
- Navios de Neogranéis: Navios *Roll-on/Roll-off* (RORO) destinados ao transporte de veículos;
- Navios Porta-Contêineres: Especializados para o transporte de contêineres,
- Navios Tanque: Projetados para o transporte de granéis líquidos, derivados do petróleo;
- Navios Graneleiros: Destinados a transporte de granéis sólidos;
- Navios Multipropósito: Projetados para oferecer flexibilidade de serviços de granéis, neogranéis e/ou contêineres. Dispõem de rampas para movimento de cargas RORO e elevadores para movimentação de contêineres.

Cada navio carrega prioritariamente um tipo de carga, e para cada uma dessas cargas existe uma operação especializada no terminal. Para navios porta-contêineres é chamado de *lift-on/lift-off* (movimentação vertical), seja por equipamentos de bordo ou por guindastes de pórtico de terra, chamado de “portêineres” (RODRIGUES, 2007).

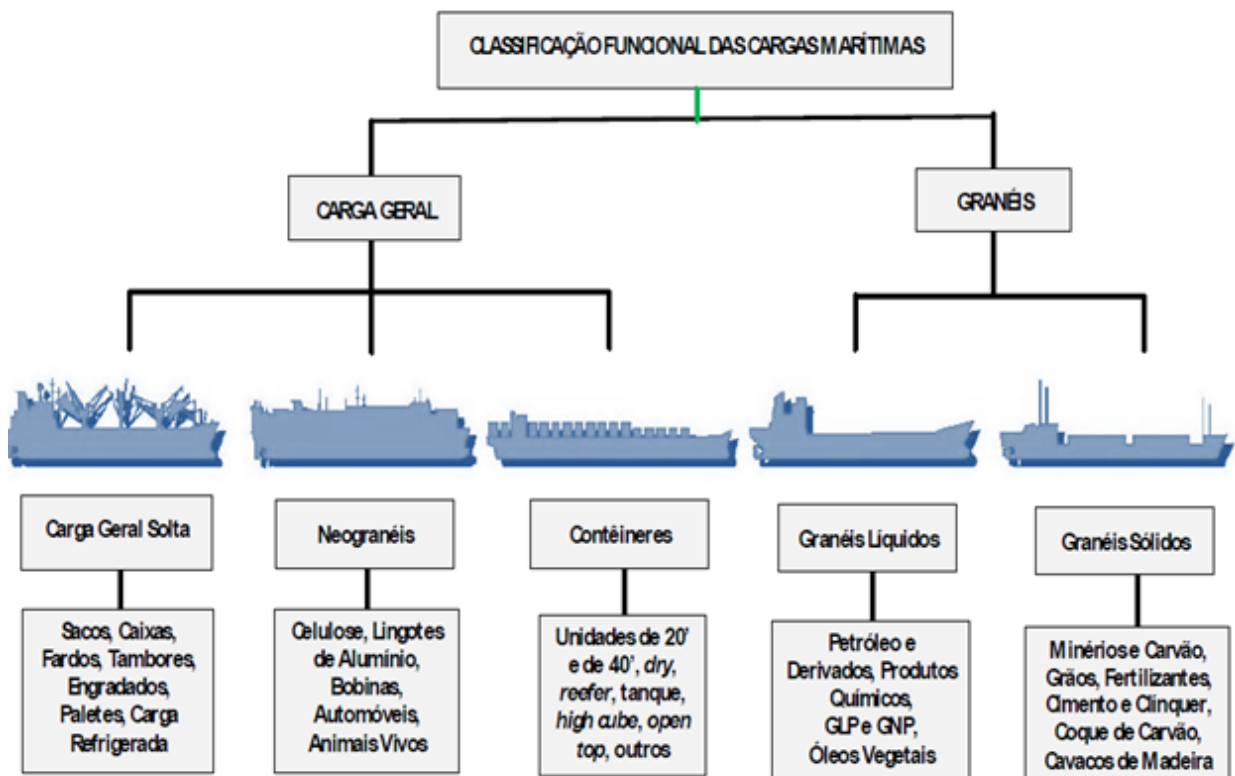
### **2.1.2 Cargas marítimas**

A natureza física do produto é importante para determinar a escolha do modal conforme suas funções logísticas (RUSHTON *et al.*, 2010). As mercadorias são caracterizadas por suas características físicas e, como cargas, determinam a forma de acondicionamento

(embalagem e armazenagem), bem como a escolha de modais e equipamentos empregados no seu transporte e na sua movimentação (ROJAS, 2014).

Magalhães (2014) classifica as cargas segundo suas principais funções, conforme apresenta o esquema da conforme o esquema da Figura 5. As classificações adaptam-se ao tipo de navio e consideram dois grandes grupos, carga geral e granéis:

Figura 5 - Classificação funcional das cargas marítimas



Fonte: Magalhães (2014, p. 18).

**Granéis:** Os granéis podem ser divididos em dois grandes grupos: líquidos (petróleo e seus derivados) e os granéis sólidos (cereais, carvão e minérios). São transportados sem embalagens ou acondicionamentos. Mercadorias soltas são usualmente homogêneas e transportadas nos porões dos navios.

**Carga geral:** Classifica-se em três grandes grupos, carga geral solta, neogranéis e contêineres.

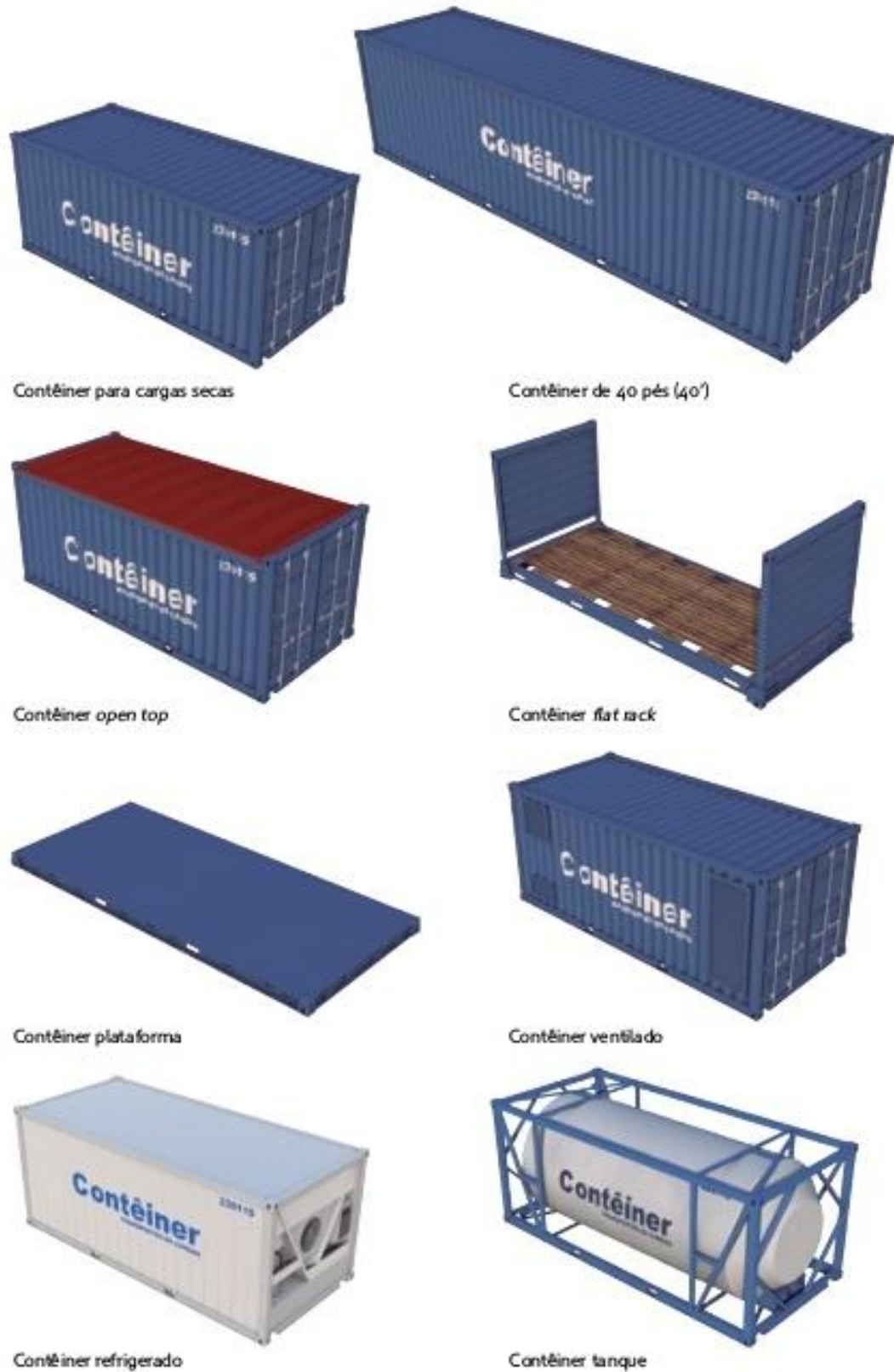
A carga geral solta, também chamada de *breakbulk*, é caracterizada pelas embalagens individuais de mercadorias. Normalmente, exigem um transporte individual por cada carga em cada modal, nesse caso exige alto custo de mão de obra.

**Cargas neograneis:** São classificadas como um aglomerado homogêneo de mercadorias, sem acondicionamento específico, cujo volume possibilita o transporte em lotes e em um único embarque e, por vezes, não são economicamente viáveis de serem containerizadas.

**Contêineres:** A invenção da containerização resolveu problemas apresentados pela movimentação da carga geral solta. Através da sua padronização de medidas, convencionado entre 20 e 40 pés, transformou o modo como mercadorias são transportadas. Facilitou a operação de comércio internacional e contribuiu mundialmente para a intermodalidade do transporte.

Na Figura 6 é possível verificar a classificação funcional para os tipos de cargas containerizadas.

Figura 6- Classificação funcional de contêineres



Fonte: Adaptado de Magalhães (2014, p. 23).



O sistema de contêineres foi incorporado como um modo especializado de transporte de mercadorias, atuando com os principais modais logísticos (rodoviário, ferroviário e marítimo) e possui as seguintes vantagens e desvantagens (RUSHTON *et al.*, 2014):

- Possibilita o desenvolvimento da intermodalidade do transporte de mercadorias;
- Permite que vários pacotes pequenos sejam consolidados em grandes cargas unitárias;
- Reduz o manuseio de mercadorias pois permite que sejam distribuídas do ponto de origem até o ponto de destino;
- Dependendo da carga, reduz as necessidades individuais de embalagem;
- Há uma redução nos danos aos produtos causados por outras cargas, impactando nas taxas de seguro;
- O tempo de entrega geral é reduzido e, portanto, aumenta os níveis de serviço;
- O retorno de contêineres vazios pode ser um problema caro, causando um desequilíbrio comercial e logístico;
- Recipientes podem vazar, causando danos devido à chuva ou água do mar.

### **2.1.3 Pátio de armazenagem**

A armazenagem de uma carga em um porto permite a transferência eficiente entre os modais de transporte marítimo e terrestre. Sua área depende do tamanho do lote a ser embarcado ou desembarcado, da distribuição das chegadas dos navios ao porto, taxas de carga ou descarga do navio, lote, frequência e velocidade com que a carga é transferida ao meio de transporte de para a retroárea ((PNLP), 2015).

Dependendo do tipo de carga, as instalações de armazenagem podem ser dedicadas a somente um produto, ou podem ser capazes de armazenar, alternativamente, diferentes produtos, dependendo da infraestrutura do terminal e dos navios que atracam ou tem a intenção de atracar no porto.

As instalações de armazenagem para granéis líquidos consistem em uma série de tanques cilíndricos. Granéis sólidos requerem proteção contra a ação do tempo e carga geral solta requer uma capacidade de armazenagem específica para o tipo de carga. Com respeito à carga geral containerizada, a capacidade depende do número de TEUs no solo disponível no

terminal, número de contêineres que podem ser empilhados e do coeficiente de utilização da altura de empilhamento ((PNLP), 2015).

#### 2.1.4 Processo operacional

A grande maioria das operações logísticas tem um alto grau de complexidade devido às suas articulações com diversos atores da cadeia de suprimentos (CARVALHO, 2003). A logística marítima está preocupada não somente com as funções individuais relacionadas ao transporte pelo mar, mas também na efetividade do fluxo logístico como uma entidade sistemática de integração de sistemas (SONG; PANAYIDES, 2012).

Sempre que a carga é enviada a um porto, deve ser dada a devida consideração à natureza das instalações de manuseio de terminais disponíveis. Nem todos os portos são capazes de lidar com todos os tipos de carga e alguns portos são estabelecidos apenas para lidar com apenas um tipo de carga (RUSHTON *et al.*, 2010). Mas, as principais funções operacionais no terminal portuário são o recebimento do navio, carregamento e descarregamento de carga, estivagem de carga e conexão ao transporte terrestre (SONG; PANAYIDES, 2012).

A eficácia dessa logística é medida pela operação de recebimento de modais terrestre e marítimo e pela entrega de bens para a retroárea de maneira a prover o movimento de bens sem interrupções, com o menor tempo de manobras possível dos modais de transporte, operando sob procedimentos, de acordo com a legislação, segurança e necessidades dos clientes (MARLOW; CASACA, 2003).

Em cada uma das etapas do fluxo das mercadorias existe um conjunto de procedimentos definidos que envolvem vários atores com diferentes responsabilidades (SIMÃO, 2012):

- Aos navios é prestado um conjunto de serviços de auxílio à navegação, pilotagem, reboque, amarração do navio, estacionamento em fundeadouro, reparações e calibrações, inspeções, entre outros. Os navios transportam mercadorias que são descarregadas ou embarcadas por estivadores, podendo ali serem temporariamente armazenadas.
- A armazenagem no pátio ocorre com o auxílio de maquinários para sua movimentação, alocação e transporte.
- As mercadorias são movimentadas para a retroárea e seguem para os destinos finais, à elas pode ser prestado um conjunto de serviços específicos, tais como armazenagem,

inspeções, despachos aduaneiros ou fitossanitários, pesagens, consolidação, desconsolidação, entre outros.

- Na retroárea as mercadorias podem ser movimentadas para zonas de atividades logísticas e posteriormente são transportadas para os importadores / exportadores.

O uso de indicadores auxilia no acompanhamento da eficácia logística no processo operacional. Marlow e Casaca (2003) levantam indicadores de performance para área portuária:

1. Tempo de espera do navio no berço de atracação;
2. Disponibilidade de berço de atracação;
3. Tempo de espera do navio para início de operações;
4. Tempo de espera para uma carga se transferida de um modal ao outro;
5. Tempo gasto na transferência da carga ao armazenamento;
6. Tempo gasto para atividades logísticas que agregam valor ao cliente;
7. Tempo total da carga no porto;
8. Custos portuário por carga movimentada.

Indicadores operacionais podem estar em funções do tempo ou custo, dependendo da estratégia do terminal

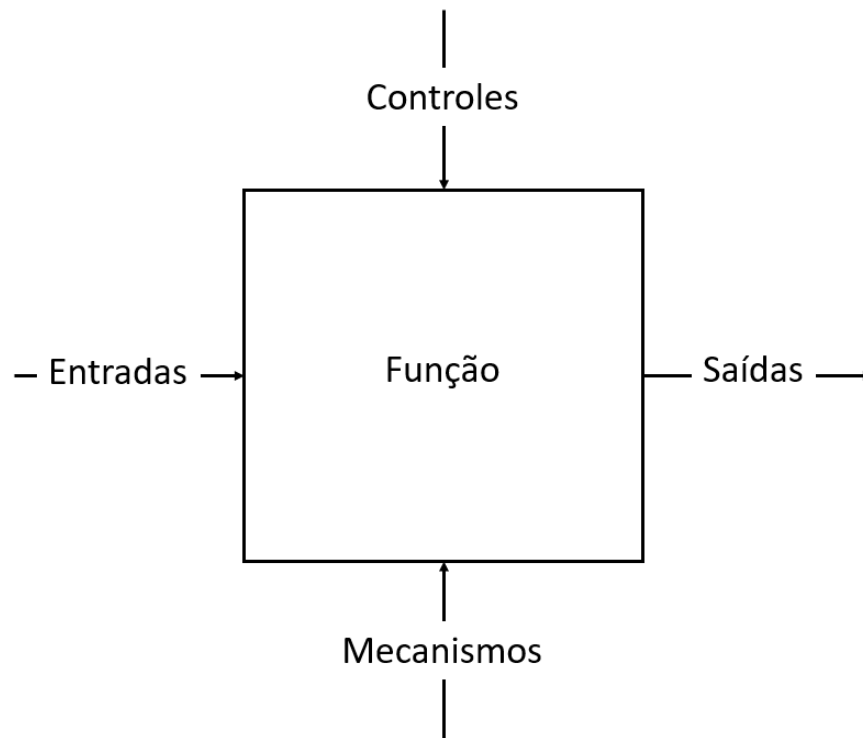
Neste trabalho apresenta-se a análise de um terminal marítimo especializado para operação de contêineres que recebe navios porta-contêineres e possui portêineres para o transporte da carga navio pátio. A transferência da carga pelo meio terrestre ocorre através de *Rubber Tires Gantries* (RTG) que transferem as cargas para caminhões. Modela-se então o processo operacional, para melhor compreender o fluxo de atendimento deste terminal.

## 2.2 MODELAGEM DE PROCESSOS

Modelagem de processos é a ferramenta básica e primordial para a execução da gestão por processos, a qual trata da representação gráfica do sequenciamento de atividades que representa, de maneira clara e objetiva, o funcionamento básico de processos (PAVANI JÚNIOR; SCUCUGLIA, 2011). O propósito é criar uma apresentação sobre o funcionamento do processo, e possibilita também conectar estratégia à execução, através do aprimoramento do mesmo ((ABPMP), 2013).

Cabe ressaltar que um modelo nunca será uma representação integral e completa do processo real, mas se concentra em atributos que suportem uma análise específica (PAVANI JÚNIOR; SCUCUGLIA, 2011). Campos (2014) define uma estrutura básica de representação de modelagem de processos que é dada por uma função com entradas e saídas, representado pela Figura 7.

Figura 7 - Estrutura básica de representação de modelagem de processo



Fonte: Campos (2014, p. 42).

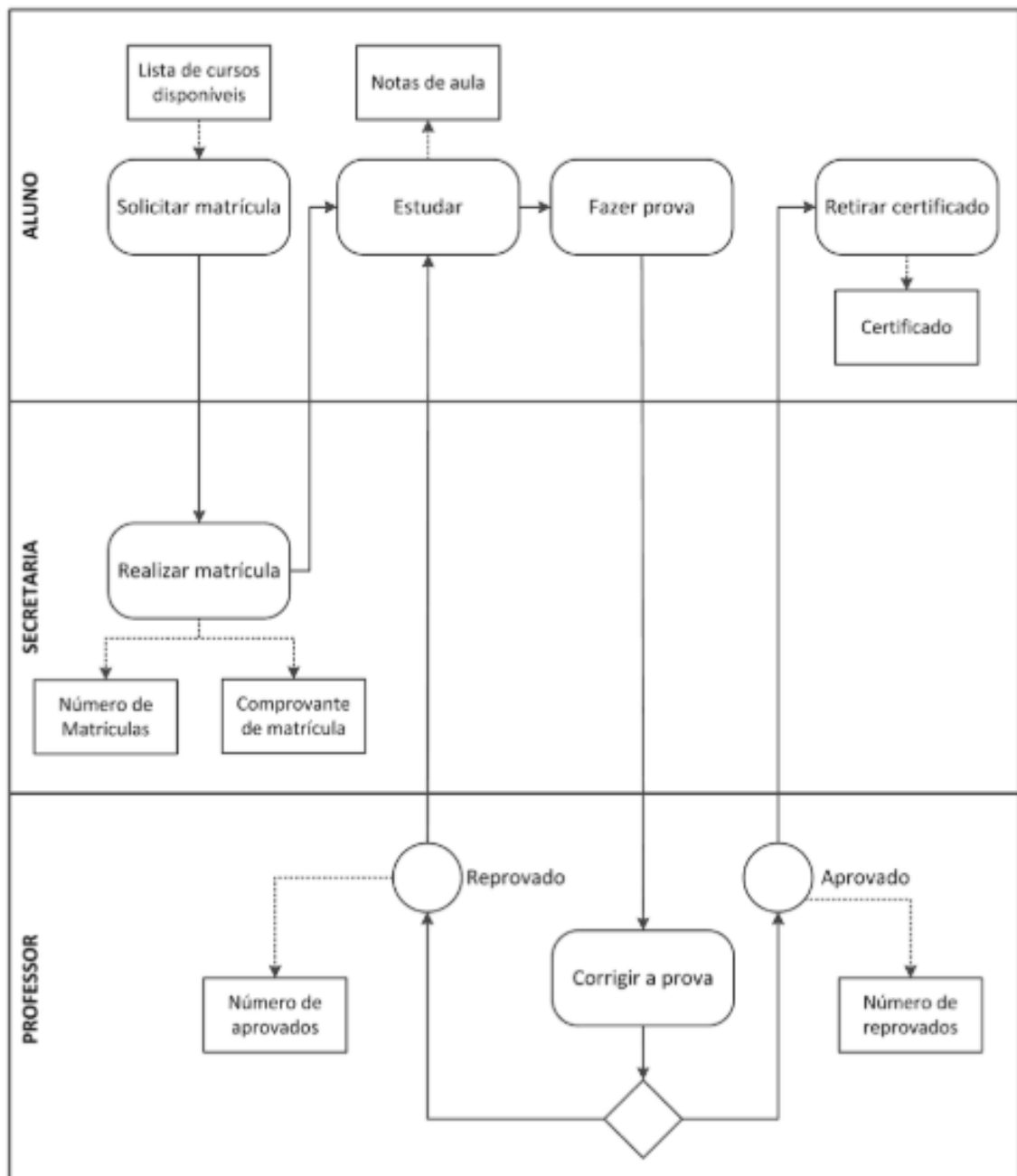
A função refere-se ao trabalho realizado e, portanto, pode descrever uma tarefa, uma atividade, um processo ou um macroprocesso. Essa função recebe uma ou mais entradas que a processam, respeitando premissas e restrições estabelecidas, e utiliza os recursos oferecidos de modo a gerar uma ou mais saídas (CAMPOS, 2014).

Campos (2014) define três elementos que enriquecem o detalhamento de atividades do no desenho de um processo, exemplificado na Figura 8 e detalhados a seguir:

- Objeto de dados: Informações ou dados consumidos ou produzidos pelas atividades. Podem se referir a documentos, banco de dados e outros;
- Atores: Pessoas que realizam as atividades através de eventos e tomada de decisões;

- Eventos: Fatos ou situações ao longo do processo, normalmente representado por verbos no pretérito perfeito, pois representa um evento que aconteceu e definiu uma nova etapa da atividade.

Figura 8 – Relação entre tarefa, atividade e processo



Fonte: Campos (2014, p. 20).

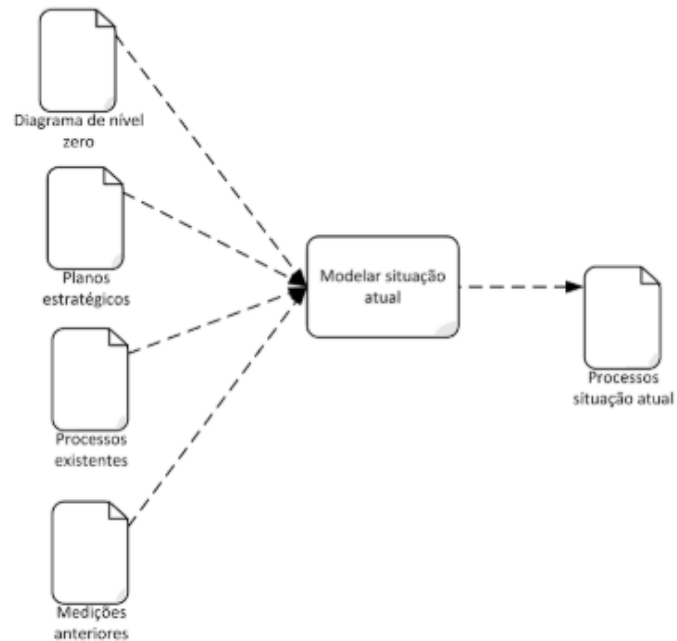
A modelagem de processos de negócio é o conjunto de atividades envolvidas na criação de representações de processos de negócio existentes ou propostos. Pode prover uma perspectiva ponta a ponta ou uma porção dos processos primários, de suporte ou gerenciamento. Por isso, o nível de detalhamento e o tipo de modelo têm como base o que é esperado na iniciativa de modelagem ((ABPMP), 2013):

- Modelos estáticos: Representam um estado único de um processo de negócio. Documentam etapas de configuração, representam estados futuros a partir de metas ou riscos do processo, gerenciam mudança e levam o processo a um nível mais alto de maturidade;
- Modelos dinâmicos: Possuem alguns ou todos elementos com características dinâmicas. Permitem a interação com o ator do processo, mostram desenvolvimento de uma tendência ao longo do tempo e podem efetuar previsões e funcionamento futuro. Utilizam-se ferramentas para acompanhar a interação dinâmica.

Processos de negócio são vivos, ou seja, se modificam através de diversos motivos como melhorias, necessidade de adequação, novas estratégias, mudanças em legislações, normas ou certificações entre outros. Campos (2014) define duas atividades de modelagem para auxiliar a gestão de mudanças de processos: Modelagem da situação atual e Modelagem da situação desejada.

A modelagem da situação atual, representada pela Figura 9, torna possível a análise desses processos. Para isso, são necessárias todas as informações disponíveis para este objetivo, tais como planos estratégicos, modelos de processos existente, medições anteriores de indicadores e qualquer outra informação que possa ajudar a compreender claramente a situação atual da organização e seus processos de trabalho.

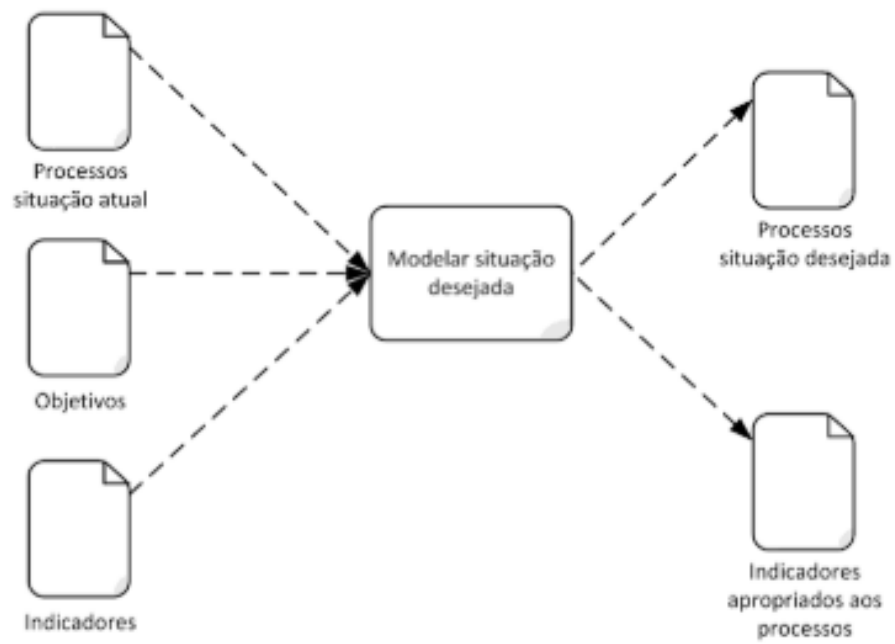
Figura 9 - Modelagem da situação atual



Fonte: Campos (2014, p. 33).

Uma vez disponíveis os processos da situação atual, é o momento de ajustá-los para atingir os objetivos definidos na etapa anterior, através da modelagem da situação desejada, representada na Figura 10. Os objetivos já contemplam tanto a estratégia organizacional quanto as eventuais oportunidades de melhorias identificadas. Através de indicadores e medições definidos, o novo modelo deve identificar detalhadamente os atores e atividades que farão parte da mudança e quais os ajustes no processo atual para atingir os objetivos determinados.

Figura 10 - Modelagem situação desejada



Fonte: Campos (2014, p. 35).



## 2.3 SIMULAÇÃO

Modelagem é a representação simplificada de um sistema complexo com o objetivo de fornecer previsões das medidas de desempenho do sistema de interesse (ALTIOK; MELAMED, 2007).

Simulação pode ser definida como uma técnica utilizada para solução de problemas a partir da análise de um modelo, descrevendo seu comportamento através de um computador (PRADO, 2014). Freitas Filho (2008) conceitua como um processo que projeta um sistema real em um modelo computacional para descrever seu comportamento, construir teorias e hipóteses e prever comportamentos futuros.

Para Hillier e Lieberman (2013), a simulação imita o desempenho de um sistema real para obter observações do seu desempenho, por isso é necessário formular um modelo de simulação detalhado para melhor descrever a operação real e como ele deve ser simulado.

Freitas Filho (2008) considera a simulação de sistemas vantajosa pois permite um nível de detalhamento muito próximo ao sistema real, permite uma visualização diferente do que podem pensar de sua operação, e por fim, permite explorar questões subjetivas para possíveis eventos. Altiok e Melamed (2007) sugerem o uso da simulação para avaliar o desempenho do sistema em cenários comuns e incomuns, prever o desempenho de projetos de sistemas experimentais e classificar múltiplos cenários e analisar seus resultados.

Em contraste com modelos de otimização, um modelo de simulação é executado ao invés de resolvido. As diferenças dessas duas abordagens implicam que o modelo simulado permita análises quase a todo instante, à medida que novas indagações sobre comportamento do sistema modelado sejam aludidas (FREITAS FILHO, 2008). Desta forma, a abordagem de simulação permite o auxílio de tomada de decisões e análises de diferentes cenários, e para cada um deles a identificação de algum problema, gargalo ou uma melhoria do sistema como um todo, não somente em um ponto específico.

Os sistemas podem, de maneira geral, ser classificados como estáticos ou dinâmicos, determinísticos ou aleatórios e contínuos ou discretos (FREITAS FILHO, 2008), conforme a Figura 11.

Figura 11 - Classificação dos sistemas



Fonte: Freitas Filho (2008, p. 46)

Simulações de sistemas se preocupa com o estudo do comportamento de sistemas reais, ou seja, que alteram ao longo do tempo (TAHA, 2012). Hillier e Lieberman (2013) subdividem a simulação de sistemas em duas categorias, sistemas contínuos ou discretos:

- A simulação de sistemas contínuos é aplicada em sistemas que sofrem mudanças de estado contínuas ao longo do tempo (HILLIER E LIEBERMAN, 2013). Esses modelos costumam utilizar equações diferenciais para descrever as interações entre os diferentes elementos do sistema (TAHA, 2012).
- A simulação de sistemas discretos ocorre quando o estado do sistema muda em cada determinado instante de tempo em que o evento acontece (HILLIER E LIEBERMAN, 2013). Esta aplicação ocorre primordialmente no estudo de filas, em que as variáveis de tempo de espera e comprimento da fila se alteram somente quando um cliente entra ou sai do sistema (TAHA, 2012).

### 2.3.1 Simulação de eventos discretos

- **Variáveis de estado:** Determinam o estado do sistema e constituem o conjunto de informações necessárias à compreensão do que está ocorrendo no sistema com relação aos objetos de estudo (FREITAS FILHO, 2008). O estado do sistema é definido por uma série de dados que captura as variáveis do sistema e permite sua descrição evolutiva no tempo (ALTIOK; MELAMED, 2007). Por exemplo, o

número de peças/pessoas/clientes/tarefas antes ou após serem processados/atendidos;

- **Eventos:** São acontecimentos e ocorrências que provocam uma mudança de estado em um sistema. Sempre que ocorre um evento, ao menos uma variável do estado se altera (FREITAS FILHO, 2008). É alimentado por variáveis que representam a estrutura dos dados, dependendo da particularidade do modelo (ALTIOK; MELAMED, 2007). Como exemplo podemos citar a chegada estatística de alguma variável de estado, o tempo de processamento e o tipo de saída dessas variáveis de estado;
- **Entidades e atributos:** Objeto que necessita de uma definição clara, movendo através do sistema e servindo outras entidades. As características das entidades são os atributos, que permitem não apenas caracterizar e individualizar entidades, mas também possibilita a obtenção de estatísticas para analisar o comportamento dos sistemas (FREITAS FILHO, 2008). A entidade é a variável de estado que, através de eventos, recebe algum atributo. Por exemplo, uma peça, que ao ser produzida numa fábrica, passa por uma série de eventos e após cada um deles vai recebendo um atributo que a difere de outra peça dependendo do evento ocorrido;
- **Outros:** Recursos são entidades estáticas que fornecem serviços às entidades dinâmicas, diferenciando em que fila de processamento a entidade está; Atividades determinam o período de tempo das entidades nos eventos, podendo ser constantes, aleatórias ou uma expressão matemática, não controlável no sistema.

### 2.3.2 Softwares de Simulação

Existem muitos *softwares* de simulação de modelos discretos e filas. FlexSim é utilizado por Beaverstock *et al.* (2012) como modelo de simulação aplicada, justificado por sua facilidade e riqueza de funcionalidades. Outro conhecido é o Simul8, que já foi considerado um dos *softwares* de simulação com o maior número de licenças vendidas no mundo (CHWIF; MEDINA, 2006).

Silva (2006) avaliou em sua tese de mestrado os *softwares* Arena, Promodel, @Risk e os comparou através de algumas características técnicas: saída de dados, eficiência e teste, execução, suporte técnico, desenvolvimento do modelo e obteve uma pontuação final após implementação de uma metodologia conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Pontuação total obtida pelos *softwares* de simulação

<i>Software</i>	<b>Pontuação</b>
<b>Arena</b>	248
<b>Promodel</b>	235
<b>@Risk</b>	166

Fonte: Adaptado de Silva, 2006.

O *software* ARENA, além de interface intuitiva, é a plataforma de maior conhecimento da autora deste trabalho, por isso sua escolha para a aplicação do estudo de caso deste trabalho de conclusão de curso.

### 2.3.3 Aplicações do Arena em processos na área de transportes e logística

Lopes (2016) utiliza o Arena para uma simulação em que propõe um modelo de simulação de um subprocesso de um terminal de armazenamento de contêineres. Através de indicadores de desempenho, identificou gargalos operacionais e propôs um melhor dimensionamento operacional para o terminal com o objetivo de otimizar as operações reduzir custos e garantir um elevado nível de serviço ao cliente.

Ventura (2018) realizou um estudo de caso do processo de manutenção em equipamentos de diagnóstico *in vitro* no Setor de Reparos de uma multinacional do setor da saúde. Para avaliar o processo, mapeou coletou dados e simulou no *software* Arena através do comportamento de eventos discretos de Teoria das Filas.

Zeng e Yang (2008) utilizaram um método de otimização de simulação para agendamento de operações de carregamento em terminais de contêiner, com a integração de mecanismo de tomada de decisão através de um algoritmo de otimização e modelo de simulação. Testes numéricos mostraram que a simulação pode resolver o problema de agendamento de terminais de contêineres de forma eficiente. E o modelo substituto pode melhorar a eficiência computacional da otimização de simulação.

Briesemeister (2017) utilizou modelagem matemática e simulação no Arena em sua tese de doutorado com o objetivo de resolver o problema de filas de caminhões causado em terminais de transbordo que operam com a técnica logística de *cross-docking* de modo a dimensionar o número de portas para minimizar o tempo de espera dos caminhões no sistema.

O uso do Arena é aplicado na área logística, e pode apresentar uma versatilidade de utilizações na área. Este programa é utilizado para a simulação do estudo de caso deste trabalho que, assim como as aplicações citadas, também está fundamentado na área logística operacional.

#### 2.3.4 Simulação de processos no Arena

Esta seção aborda a aplicação do ARENA para sistemas de distribuição discreta. O conteúdo está baseado em Prado (2014) e Freitas Filho (2008).

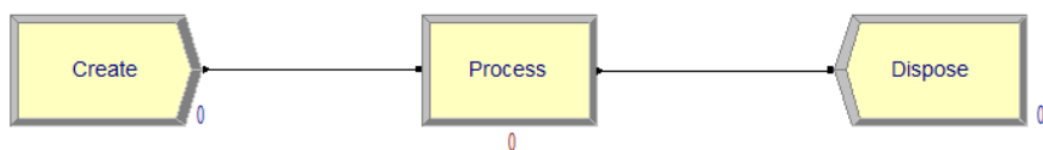
O ARENA visualiza o sistema a ser modelado como constituído de um conjunto de estações de trabalho que contém um ou mais recursos, e que prestam serviços a clientes (entidades) que se movem através do sistema. O movimento pode acontecer pelas próprias entidades, transportadores ou por esteiras.

As variáveis do sistema de filas se caracterizam por sua aleatoriedade e por isso possuem uma distribuição de probabilidade. Para isso, o ARENA oferece duas ferramentas adicionais de analisador de dados: de entrada (*Input Analyzer*) e de resultados (*Output Analyzer*). A ferramenta de entrada permite a inserção de dados reais do funcionamento do processo e, com a ferramenta, é possível escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles, incorporando-a diretamente no modelo. Já a ferramenta de resultado permite analisar os dados coletados durante a simulação, possibilitando fazer comparações estatísticas.

O *software* possui uma barra de ferramentas que abriga os módulos ou comandos necessários a modelagem. Esses módulos são caracterizados pelo tipo de processamento, alocação e direcionamento das variáveis. Nesta barra, há uma área chamada *Basic Process* (processo básico), e permite o entendimento básico da implementação de um processo de filas.

Na Figura 12 é possível observar alguns dos módulos usados no modelo básico da área de *Basic Process*.

Figura 12 – Modelo básico Arena.

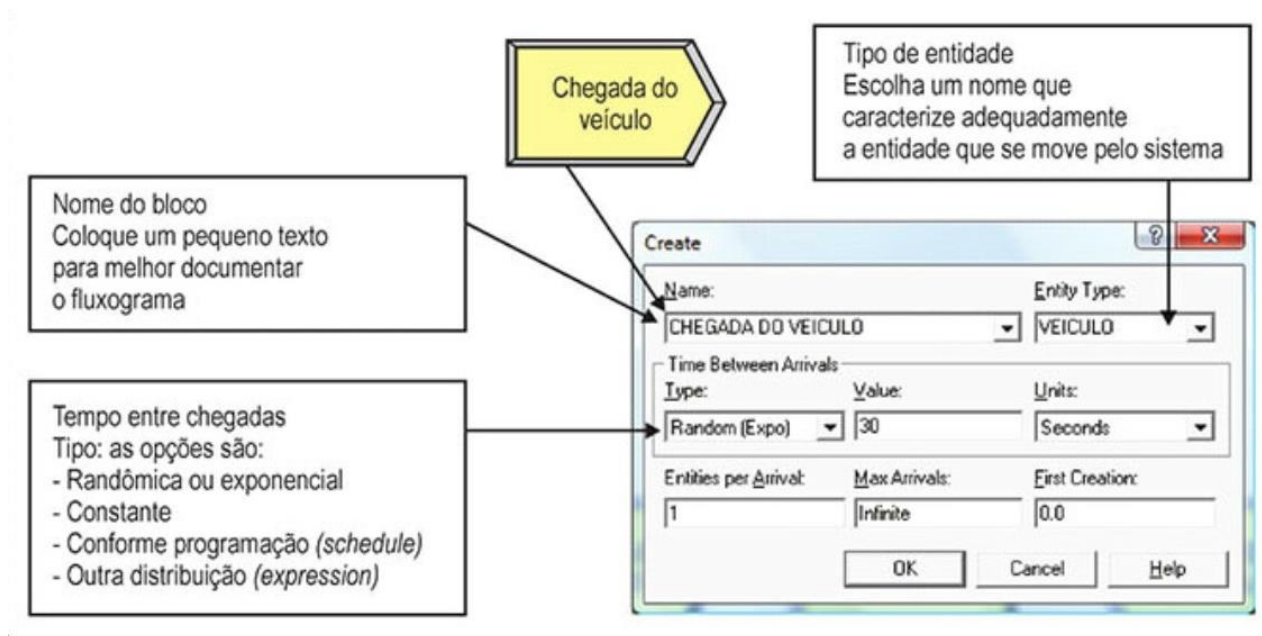


Fonte: Freitas Filho (2008, p. 107).

**Módulo *Create*:** O primeiro módulo é responsável pela criação de entidades do modelo e essa informação controla o processo de chegada no sistema, pode-se observar na Figura 13.

Neste módulo é inserido o nome do processo, o tipo da entidade, a expressão que define o processo de chegadas do sistema, a unidade de tempo e a quantidade de entidades em função dessa expressão. É importante pontuar que o processo de chegada de filas ocorre através do “Tempo Entre Chegadas”, ou seja, a expressão que representa o tempo entre a chegada de uma entidade para a outra. Esses dados podem ser utilizados com o auxílio do *input analyzer* ou previamente coletados.

Figura 13 – Módulo *create* do Arena



Fonte: Prado (2014, p. 64).

**Módulo *Process*:** apresenta como será o atendimento das entidades no processo de chegada anterior e representa o atraso que a entidade sofre.

Conforme observa-se na Figura 14, no campo *Action* é possível definir o tipo de processamento que a entidade enfrenta ao passar por esse atendimento. As opções são *Delay*, implica que a entidade sofre um atraso (parada ou espera) sem a necessidade de um recurso, por exemplo uma peça sendo produzida, onde ocorre uma parada para secagem do material; *Seize Delay*, que significa que um recurso atende cada entidade por um período de tempo determinado, por exemplo uma máquina é utilizada para secagem do material por um tempo específico; *Seize Delay Release* significa que além de o recurso atender a entidade por um

tempo, só liberará quando terminar seu processo encerrar, seguindo o mesmo exemplo, a secadora só deixará de secar o material quando um sinal indicar que ele está seco.

É possível ainda indicar se o atendimento ocorre num procedimento automático ou não, se há prioridade nesse serviço e também a quantidade de recursos (pessoas, máquinas) que serão necessárias para atender as entidades. Para essa função, também é possível fornecer uma distribuição probabilística.

Figura 14 - Módulo *process* do ARENA

The screenshot shows the 'Process' dialog box in the ARENA software. The dialog is titled 'Process' and has a standard Windows-style window with a question mark and a close button in the title bar. The main content is organized into several sections:

- Name:** A dropdown menu showing 'Process'.
- Type:** A dropdown menu showing 'Standard'.
- Logic:**
  - Action:** A dropdown menu showing 'Seize Delay Release'.
  - Priority:** A dropdown menu showing 'Medium[2]'.
  - Resources:** A list box containing '<End of list>' which is highlighted in blue. To the right of the list are three buttons: 'Add...', 'Edit...', and 'Delete'.
- Delay Type:** A dropdown menu showing 'Triangular'.
- Units:** A dropdown menu showing 'Hours'.
- Allocation:** A dropdown menu showing 'Value Added'.
- Minimum:** A text input field containing '.5'.
- Value (Most Likely):** A text input field containing '1'.
- Maximum:** A text input field containing '1.5'.
- Report Statistics:** A checked checkbox.
- Buttons:** 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons at the bottom.

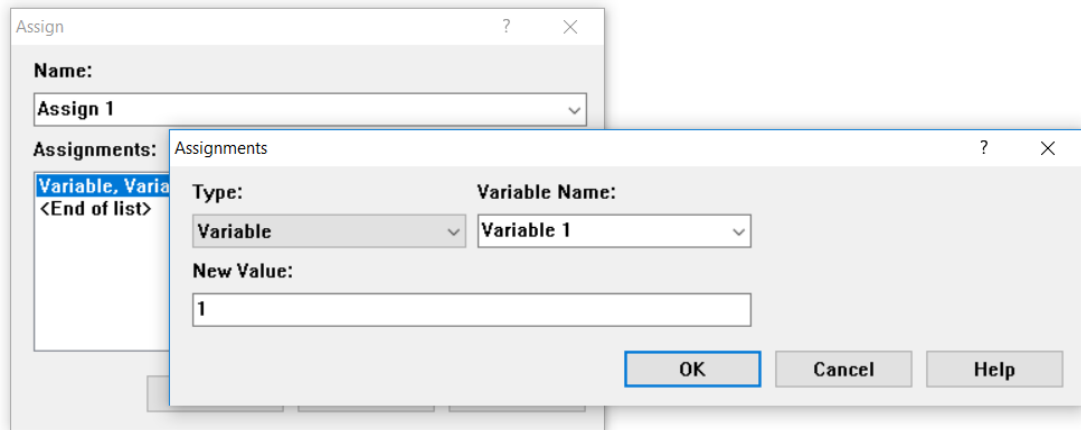
Fonte: Autora (2019).

O deslocamento entre estações pode acontecer pelo próprio cliente ou por um equipamento, que acontece devido as conexões entre os módulos e representa o fluxo de entidades no modelo. Quando o cliente é devidamente atendido e o processo finalizado, ele se retira do sistema não impactando mais nos outros clientes que ainda estão no modelo.

O Arena possui módulos que complementam e auxiliam no detalhamento dos modelos. O módulo *assign*, como observa-se na Figura 15, possui funções para alterar valores dos elementos do modelo, inserir novas variáveis, atributos e figuras para as entidades. É possível

também inserir novas distribuições de comportamento das entidades e, para cada um, determinar qual a função de processamento deles.

Figura 15 – Módulo *Assign*

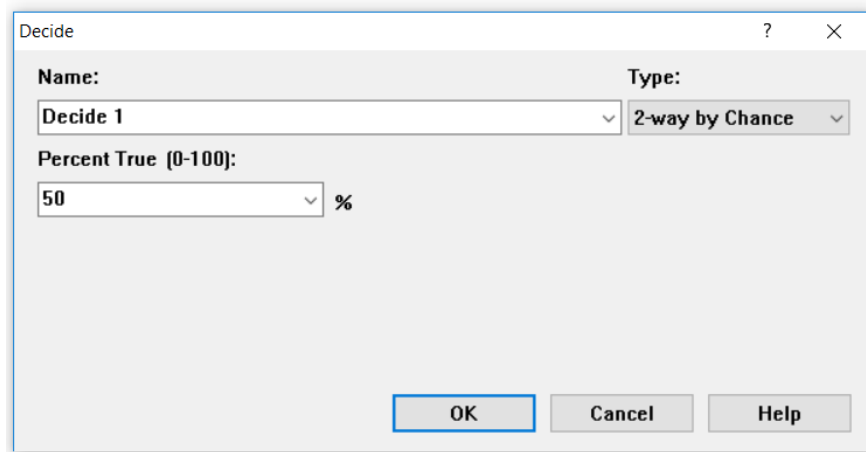


Fonte: Autora (2019).

Já o módulo *decide*, representado por um triângulo, é utilizado para decisão de divisão do fluxo conforme a Figura 16. Quando uma tomada de decisão pode determinar alguma diferenciação em porcentagem ou atributo:

- 2-Way by Chance e N-Way by Chance – Onde as opções de prosseguimento são impostas por duas ou mais probabilidades;
- 2-Way by Condition e N-Way by Condition – Opções de prosseguimento são definidas por duas ou mais condições.

Figura 16 – Módulo *Decide*



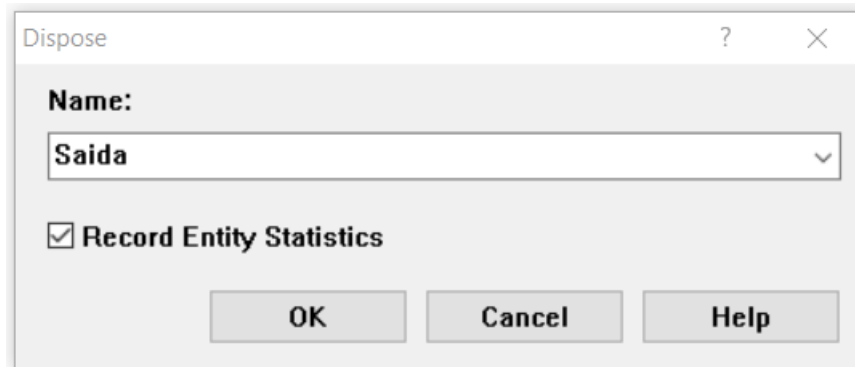
Fonte: Autora (2019).



**Módulo *Dispose*:** Módulo pelo qual as entidades saem do sistema, contabilizando seu tempo de processamento e inserido no relatório final, conforme mostra a

Figura 17.

Figura 17 - Módulo *Dispose* do ARENA



Fonte: Autora (2019).

Após a modelagem do sistema, configura-se as especificações e controles para a simulação. A janela *run/setup* permite que haja a configuração do tempo desejado de simulação (tempo real do modelo, sendo milésimos de segundos do tempo em que o programa executa), a unidade de tempo utilizada e o número de replicações da simulação.

Cabe ao modelador determinar o número de replicações. Mas se esse número é pequeno para um resultado viável, a variável de resposta pode apresentar muita variabilidade, que impossibilita o alcance de intervalo de confiança desejado. Uma amostra piloto com variação entre 10 e 15 replicações indicam a diferença entre os resultados.

Após o término da simulação, um relatório é extraído para análise. Para o caso do *basic process*, o relatório informa o tempo médio na fila (TF) (*waiting time*), tamanho médio na fila (NF) (*number waiting*), utilização média do atendente (*numbusy*) e total de entidades que passaram pelo sistema (*number out*) entre outros indicadores.

A qualidade e a validade de um modelo de simulação são medidas pela proximidade entre os resultados obtidos pelo modelo e aqueles originados do sistema real.

### 3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso deste trabalho de conclusão de curso é o processo de atendimento aos caminhões que realizam a retirada ou a entrega de uma carga em um terminal marítimo privado localizado na região Norte de Santa Catarina.

O Porto Itapoá é um terminal marítimo sob administração e propriedade privada e divide o canal de acesso marítimo com o Porto de São Francisco do Sul. Está localizado entre os Estados do Paraná e Santa Catarina, mais precisamente 140km ao sul de Curitiba e 80km nordeste de Joinville.

Desde o início de sua operação em 2011, o terminal segue em processo de expansão física para hoje possuir uma estrutura capaz de movimentar 1,2 milhões de TEUs por ano com objetivo de aumento de capacidade para 2 milhões (PORTO ITAPOÁ, 2019).

O acesso rodoviário ao terminal ocorre pelas BRs 101 e 116, e possui uma rua privada de acesso sem interferência ao perímetro urbano da cidade. Já o acesso marítimo, ocorre através da Baía da Babitonga com profundidade de 17m no canal de acesso, possibilitando capacidade de operação de navios de grande porte (PORTO ITAPOÁ, 2019).

A operação para navios ocorre através de 6 portêineres (estivadores de contêineres). No pátio de armazenagem de cargas possui 17 RTGs (*Rubber Tires Gantries*) - equipamentos de empilhamento; 2 RS (*Reach Stackers*) - empilhadeiras para contêineres cheios; três *Empty Handlers*, empilhadeiras para contêineres vazios e 26TTs (Terminal Tractors), caminhões para o transporte dos contêineres entre os equipamentos (PORTO ITAPOA, 2019).

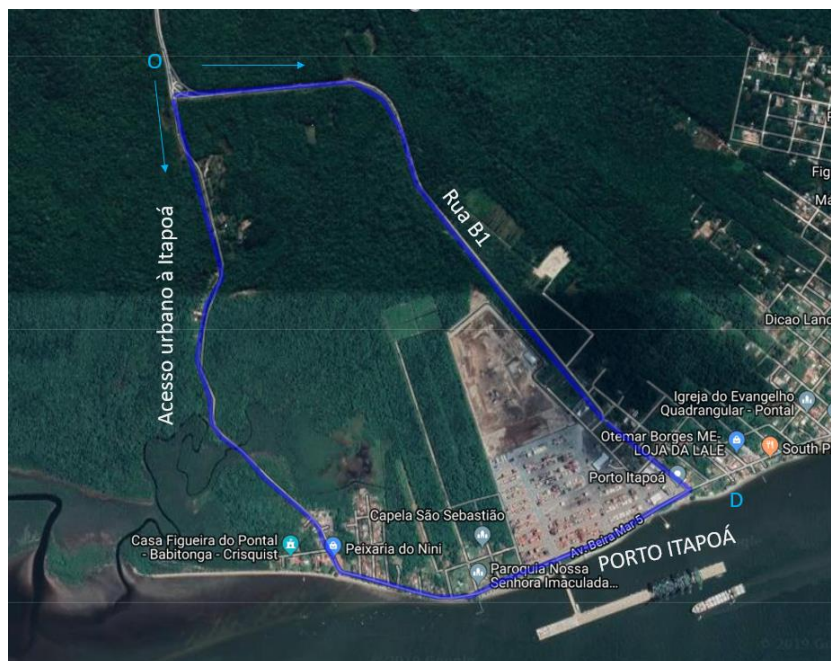
Este trabalho utiliza dados reais fornecidos pelo Porto Itapoá com foco na operação de acesso terrestre do terminal.

#### 3.1 ETAPA PLANEJAMENTO

##### 3.1.1 Formulação do problema

O acesso dos caminhões ao terminal é dado por uma via privativa do Porto Itapoá, nomeada de Rua B1. Esta rua dá acesso ao terminal a partir da SC-416 somente aos caminhões para evitar interferência com o perímetro urbano da cidade, conforme pode ser observado na Figura 18. Esta rua possui 2,5 km de comprimento e capacidade para 110 caminhões.

Figura 18 - Acesso de caminhões ao terminal do Porto de Itapoá



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

A Rua B1 é o único acesso terrestre dos caminhões para receber os serviços do Porto Itapoá. O porto Itapoá oferece seis janelas para possível agendamento da chegada dos caminhões conforme representado na Tabela 3.

Tabela 3 - Janela de horários para possíveis agendamentos da chegada dos caminhões

<b>Janela</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
<b>1</b>	00:00	03:59
<b>2</b>	04:00	07:59
<b>3</b>	08:00	11:59
<b>4</b>	12:00	15:59
<b>5</b>	16:00	19:59
<b>6</b>	20:00	23:59

Fonte: Autora, 2019.

Os caminhões que acessam o terminal devem ser agendados dentro da disponibilidade dessas janelas, através do portal de atendimento do cliente, por importadores, exportadores, despachantes e transportadora para receber e entregar as cargas containerizadas transportadas nos navios. A operação na entrada, chama de *gate*, visa receber esses caminhões dentro do

tempo de agendamento planejado conforme a operação no pátio. A logística de atendimento dos caminhões que chegam na B1 classifica-os em três grandes grupos:

- Recebimento de contêineres cheios (com carga) e entrega de contêineres cheios e vazios (sem carga);
- Retirada de contêineres vazios;
- Caminhões que chegaram antes do horário de agendamento ou possuem alguma divergência (rompimento de lacre, divergência de dados ou outro critério que impeça de recebê-lo para operação no pátio).

Esses grupos são separados em filas e recebem um atendimento diferente para cada uma das situações. Também para facilitar o processo, o terminal procura informar aos clientes para que preparem os motoristas conforme observa-se na Figura 19.

Figura 19 - Informativo para organização dos caminhões que chegam no terminal



Fonte: Porto Itapoá (2019).

A separação de tipos de atendimento na B1 é a maneira encontrada pelo Porto para melhor organizar e distribuir os caminhões ao longo da via, de maneira a otimizar o atendimento na entrada, também chamado de *gates*, e reduzir as filas.

Porém, em alguns dias de pico de tráfego, ou devido a eventos não previstos, a fila de caminhões pode ultrapassar a capacidade da B1, causando desconforto para a comunidade local,

motoristas e trânsito no acesso urbano à cidade, reduzindo o nível de serviço e também dificultando o trabalho da equipe do terminal que visa atender esses caminhões.

Observa-se na Figura 20, a divisão da Rua B1 em pontos específicos da via para a segregação dos caminhões: Entrada, Ponto A, Ponto B, *Gate* de entrada e saída.

Figura 20 - Divisão da rua B1 para recebimento de caminhões



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

**Entrada:** Ao acessar a B1, motoristas devem encontrar um encarregado da equipe do terminal, onde são direcionados em três diferentes grupos: retirada de contêiner vazio, caminhões que chegaram antes ou depois da janela de horário agendada ou caminhões dentro do horário agendado. Esta classificação auxilia ações iniciais do processo.

**Ponto A:** Caso o motorista tenha chegado antes ou depois do período da sua janela agendada, ele deve aguardar a partir do ponto A e o cliente (que pode ser a transportadora, o importador, exportador ou o despachante) deve reagendar para a próxima janela com vaga disponível e o motorista deve aguardar o período da sua janela para sua entrada efetiva.

**Ponto B:** Caso esteja no horário agendado, o motorista deve seguir adiante até o ponto B, para realizar uma vistoria de verificação dos dados inseridos no agendamento com os dados físicos obtidos através de informações do coletor de dados.

O processo de retirada de contêineres vazios pode ocorrer com o mesmo caminhão e mais de uma vez ao dia. Como o processo de retirada de vazios não precisa de agendamento em janelas, os caminhões devem utilizar a segunda pista a partir do ponto B, paralelo à fila de caminhões dentro do horário previsto.

Caminhões que estiverem no ponto B passam por uma vistoria enquanto aguardam sua fila de entrada. Nesta vistoria verifica-se o estado físico do contêiner e são registradas avarias para garantir segurança no transporte da carga e verificação de informações. Na vistoria são verificados os tipos de procedimentos que o caminhão passará no processo de *gate in* atendimento no pátio e *gate out*. Os procedimentos se diferenciam pelo tipo de carga:

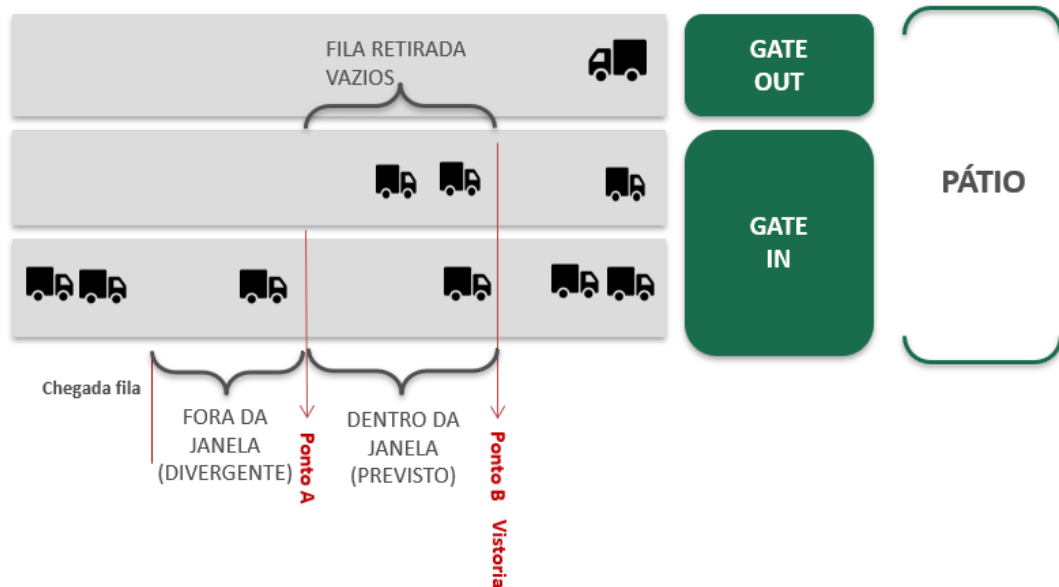
- 1) Recebimento/Retirada de contêineres cheios.
- 2) Recebimento/Retirada de contêineres vazios.
- 3) Recebimento/Retirada de carga solta para *crossdocking*/estufagem.

Cada carga, devido sua especificidade e planejamento de operação, deve realizar um processo diferente dentro do pátio, e então se deslocar ao *gate out* para saída do terminal.

**Gate in:** O acesso ocorre através de oito *gates*, que trabalham 24h por dia com disponibilidade para trabalhar com duas pistas exclusivas para entrada, duas exclusivas para saída e quatro reversíveis. As informações do contêiner e da placa do caminhão são coletadas automaticamente via OCR (*Optical Character Recognition*), uma tecnologia de reconhecimento de imagem. Neste momento é conferido se os dados físicos estão corretos pelas imagens capturadas nas câmeras.

Caso haja alguma divergência com relação à leitura errada identificada pelo OCR ou falha na coleta da biometria, as informações devem ser corrigidas pelo próprio motorista ou é possível acionar o apoio da equipe do *gate* para que sejam realizadas as alterações necessárias. Todo o sistema de atendimento no *gate* pode ser observado na Figura 21.

Figura 21 - Representação do sistema de atendimento do *gate*



Fonte: Autora (2019).

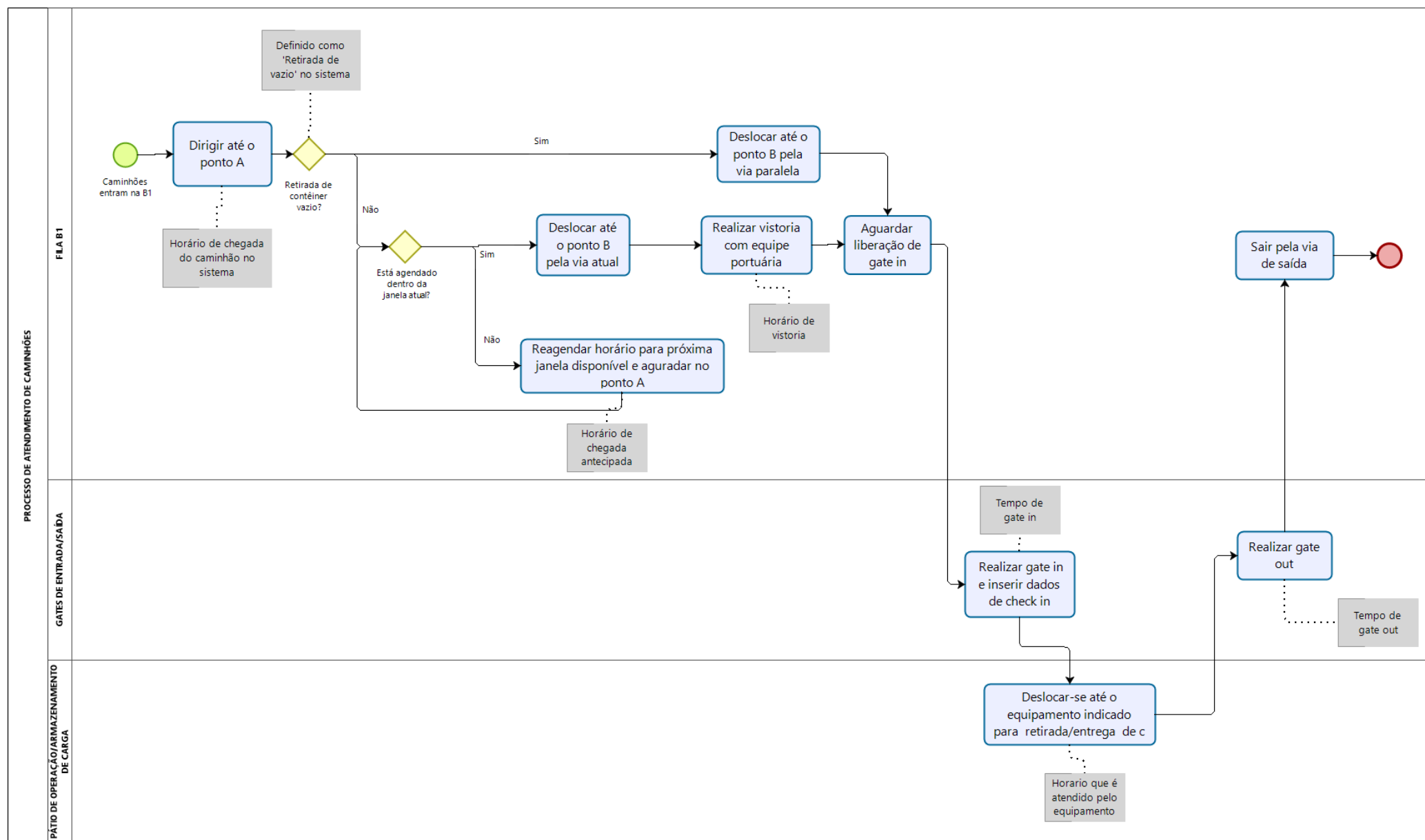
Ciclo de atendimento do caminhão, também chamado de *Truck Cycle*, é o indicador que identifica o tempo médio executado pelos caminhões em todas as etapas do ciclo: tempo na fila de entrada, tempo de *gate in*, tempo de atendimento no pátio e tempo de *gate out*. Para uma boa produtividade de atendimento, o Porto Itapoá considera 110 minutos a meta deste indicador.

Para cada etapa são determinadas as metas de 50 minutos de fila de entrada (somente agendados), 2 minutos de permanência nos *gates* (processamento da transação), 30 minutos de atendimento no pátio, 26 minutos na fila de saída e 2 minutos de permanência nos *gates* (finalização da transação).

### 3.1.2 Mapeamento do Processo

O mapeamento do processo descrito, chamado também de *Truck Cycle*, é representado na Figura 22 através do seu mapeamento.

Figura 22 - Mapeamento do processo de Ciclo de atendimento de caminhões no Porto Itapoá





## 3.2 ETAPA MODELAGEM

A modelagem do processo de Ciclo operacional do caminhão no Porto Itapoá é implementada no *software* Arena. Cada etapa do processo é representada por uma funcionalidade do programa.

Para representar a chegada de caminhões nos três grupos descritos, utiliza-se o módulo *create* para caminhões que chegam antes da janela de agendamento e os que chegam dentro da janela, e cada um deles se comporta de maneira diferente, ou seja, possui uma expressão estatística diferente de tempos entre chegadas.

Caminhões de retirada de vazios podem chegar a qualquer momento do dia, ou seja, não precisam chegar em uma janela específica, por isso são identificados através do módulo *dispose*, na qual representa uma porcentagem dos caminhões dentro do horário.

O modelo possui cinco etapas de processamento, o reagendamento dos caminhões antecipados, a vistoria dos que estão dentro da janela de atendimento, o atendimento de carregamento e descarregamento de carga no pátio pelo equipamento RTG e os processos de entrada e saída pelos *gates in* e *gates out* respectivamente. Para todos eles utiliza-se o módulo *process*.

Para cada uma das operações de contêineres cheios (FCL) e vazios (MTY) utiliza-se um tempo de atendimento diferente em cada processamento.

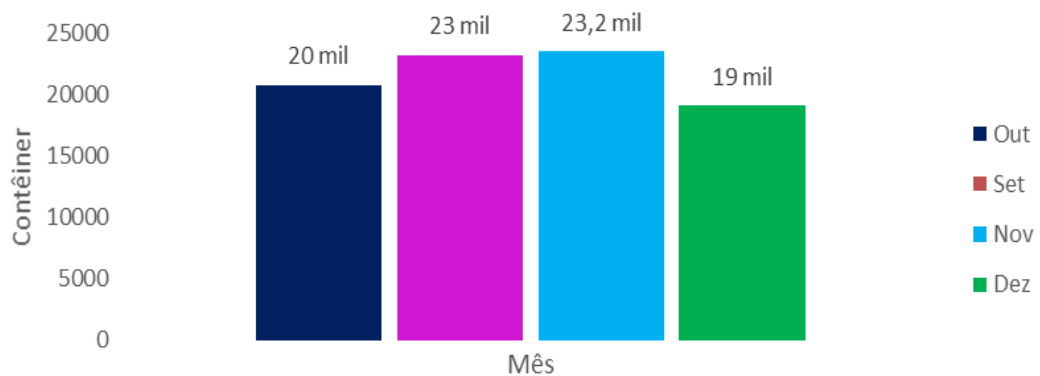
A modelagem do sistema de ciclo do caminhão é então elaborada através das conexões de fluxo, conforme apresentado na Figura 22, para que se possa inserir as distribuições estatísticas e os dados necessários ao comportamento do sistema.

### 3.2.1 Coleta e tratamento de dados dos relatórios obtidos pela empresa

No mês de setembro do ano de 2018 o Porto Itapoá informou que sua operação de atendimento terrestre passou a utilizar dois novos *gates*, totalizando oito *gates* de atendimento, sendo quatro reversíveis. Para se aproximar à realidade, utilizou-se o arquivo histórico da movimentação dos caminhões entre os meses de setembro a dezembro de 2018, em que se pode observar os seguintes resultados:

Entre os meses observados, novembro obteve a maior movimentação, totalizando por volta de 23.200 caminhões. Neste sentido, decidiu-se abordar a situação mais crítica, conforme mostra o Gráfico 1.

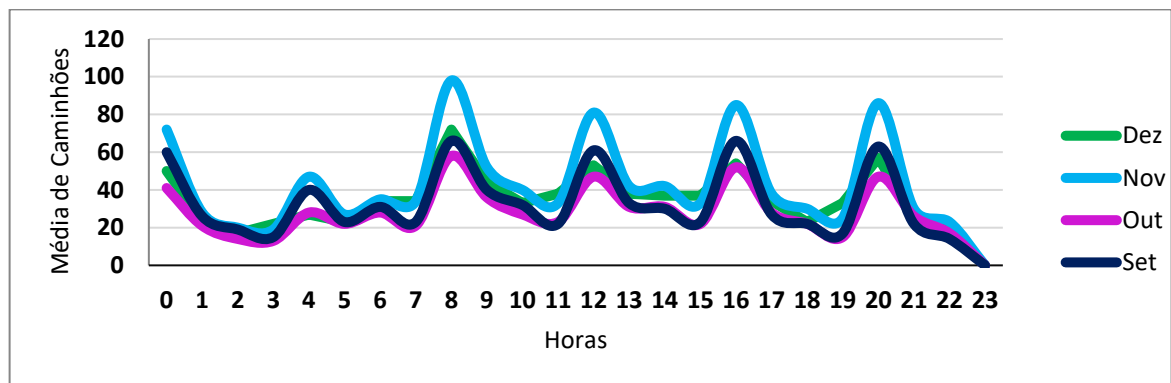
Gráfico 1 - Meses de maior movimentação de contêineres



Fonte: Autora, 2019.

O Gráfico 2 apresenta a média de chegadas mensais ao longo de um dia. Pode-se concluir deste gráfico que o início das janelas de atendimento (4h, 8h, 12h, 16h, 20h e 24h) apresentam picos de chegada de caminhões em todos os meses.

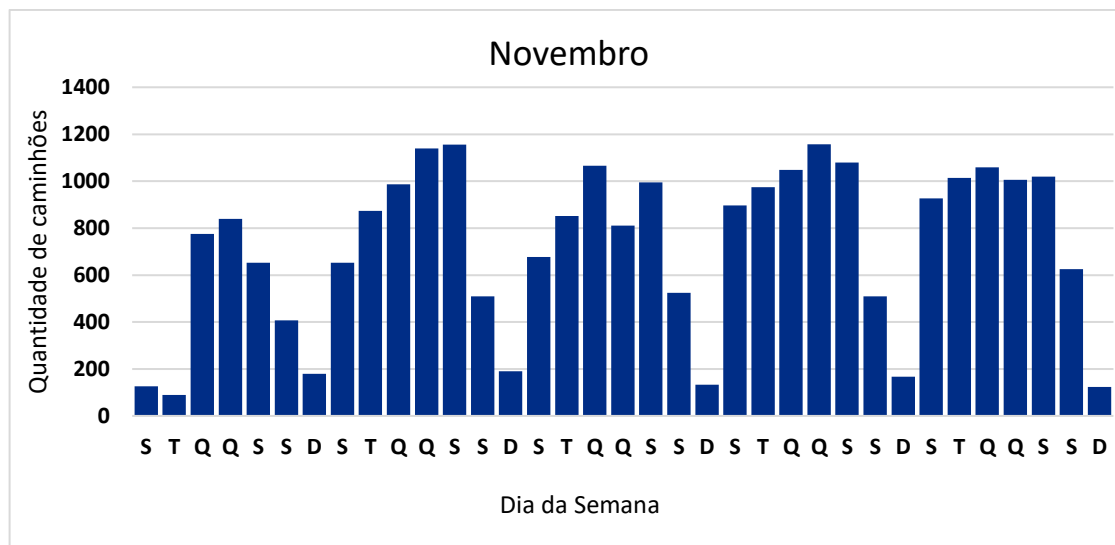
Gráfico 2 - Média de chegadas mensal ao longo de um dia



Fonte: Autora, 2019.

A partir do total de caminhões que acessaram ao terminal no mês de novembro é possível acompanhar o comportamento ao longo das semanas conforme apresenta o Gráfico 3.

Gráfico 3 – Quantidade de caminhões que acessaram o terminal no mês de novembro



Fonte: Autora, 2019.

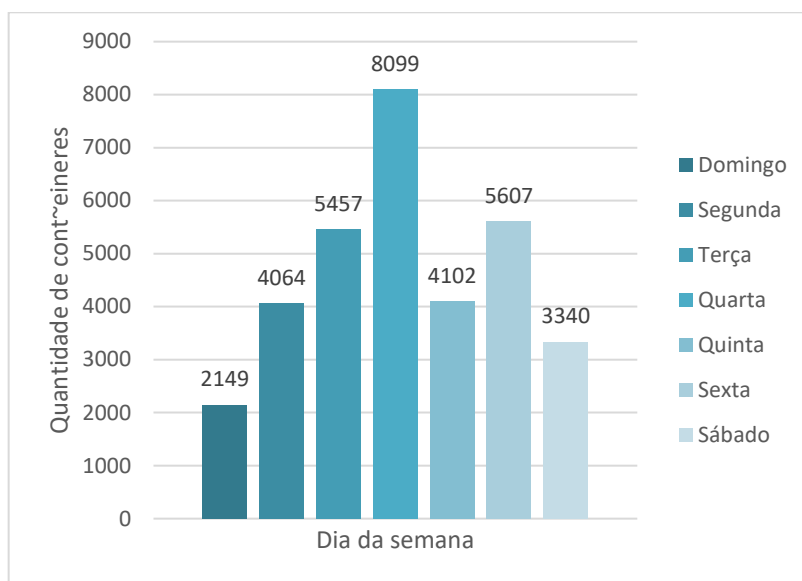
Observou-se dados do dia 29 de outubro (segunda-feira) a 02 de dezembro (domingo) para obter o comportamento semanal. O Gráfico 3 indica maior quantidade entre segundas e sextas-feiras, seguida de um decréscimo nos finais de semana. Esse comportamento dá-se pelo recebimento de caminhões estar vinculado às transportadoras, que por sua vez trabalham em dias úteis e também se deve ao fato de a data limite de recebimento de cargas para o navio ocorrer uma semana antes da chegada dele.

Para melhor compreender a movimentação de caminhões é importante observar também o movimento de navios no terminal. Quando o terminal opera o carregamento e descarregamento de navios, deve planejar sua operação de forma a organizar o pátio para retirada e recebimento de cargas do navio e ao mesmo tempo organizar as cargas que chegam via caminhões pelo *gate* de entrada.

Diante das movimentações semanais, as quartas-feiras se mostraram como o dia de maior movimento tanto no recebimento de caminhões quanto no de navios, ou seja, operação marítima e terrestre de pico.

As quartas-feiras somaram uma movimentação de 80 mil contêineres dos navios ao longo do mês, sendo elas exportação, importação e cabotagem, conforme apresenta o Gráfico 4. Já a movimentação terrestre apresentou uma média de mil caminhões para receber ou deixar uma carga neste mesmo dia da semana, conforme mostra a Tabela 4.

Gráfico 4 - Média de movimentações de contêineres nos navios



Fonte: Autora, 2019.

Tabela 4 – Média de movimentação de caminhões

Dia da semana	Média
<b>Domingo</b>	167
<b>Segunda-feira</b>	788
<b>Terça-feira</b>	928
<b>Quarta-feira</b>	1040
<b>Quinta-feira</b>	990
<b>Sexta-feira</b>	980
<b>Sábado</b>	487

Fonte: Autora, 2019.

A operação simultânea de atendimento de navios e caminhões utiliza os equipamentos de pátio para carregar e descarregar os caminhões de clientes e os caminhões internos, responsáveis por fazer o transporte entre navio e pátio de armazenamento.

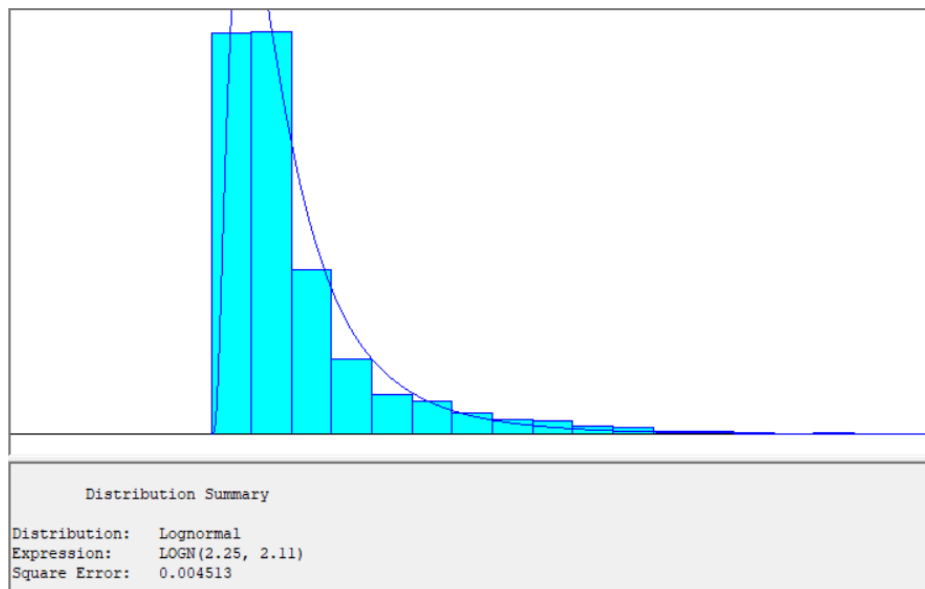
Diante da coleta e análise dos dados observados, estuda-se o comportamento dos caminhões nos dias 07, 14, 21 e 28 de novembro, as quartas-feiras mais movimentadas tanto no atendimento terrestre quanto marítimo, tornando-se o cenário típico, de maior demanda.

### 3.2.2 Simulação do sistema modelado no *software* Arena

Para simular os dados obtidos, é necessária a inserção dos dados coletados e tratados no modelo. Com o auxílio do módulo *input analyzer*, obtém-se os histogramas e comportamento estatísticos das entidades em cada etapa do modelo. Ou seja, descreve-se o comportamento dos caminhões nos processos de chegada para o atendimento operacional do terminal.

Caminhões que chegam descrevem uma função de chegada através de uma distribuição Logonormal com média de 2,25 minutos entre chegadas e desvio padrão de 2,11, ou seja, a cada 2,25 minutos um caminhão chega ao terminal, podendo variar 2,11 minutos a menos ou a mais. Sua distribuição está representada na Figura 23, em que o eixo x representa o tempo e o eixo y a quantidade de vezes que o tempo em x aparece na amostra de dados.

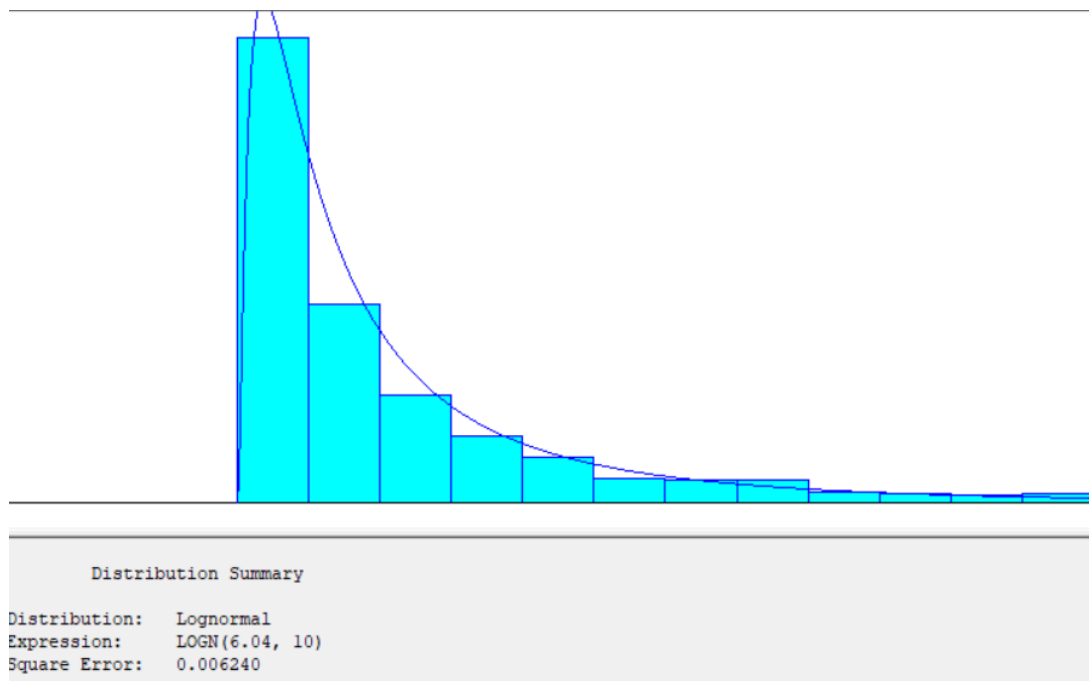
Figura 23 – Distribuição de chegada dos caminhões pela ferramenta *Input Analyzer* do Arena



Fonte: Autora (2019).

Caminhões com chegadas antecipadas ao horário da sua janela de agendamento, são representados também por uma Logonormal, mas com média de 6,04 e desvio padrão de 10 minutos como representado na Figura 24.

Figura 24 – Distribuição de chegada de caminhões antecipados



Fonte: Autora (2019).

Ambas as distribuições são inseridas nos seus respectivos módulos *create* conforme as funções apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Funções de chegada para o módulo create

Módulo Create	Chegada dentro da janela	Chegada antecipada
<b>Função de chegada</b>	<i>LOGN</i> (2.25 , 2.11)	<i>LOGN</i> (6.04 , 10)

Fonte: Autora (2019).

O módulo *Decide* é utilizado para a divisão de retirada de contêineres vazios, pois não passam pelo processo de vistoria, são identificados em média 10% dos caminhões que chegam dentro do horário. Também é utilizado este modulo para direcionar o tipo de carga que passa pelos processos operacionais, contêineres cheios e vazios, representados por 63% e 37% respectivamente

O reagendamento é um processo com uma *Action Delay* pois não precisa de nenhum recurso, o motorista apenas aguarda o cliente agendar novamente sua entrada. Este tempo de espera é representado por uma função Exponencial com média de 85 minutos, ou seja, os

caminhões aguardam, parados, esse tempo até que são reagendados e podem ser recebidos na próxima janela.

Para o processo de vistoria, apesar do recurso ser executado por uma pessoa da equipe do porto, acontece no momento em que o caminhão já está na fila, parado. Por isso, utiliza-se também a *Action Delay*, com uma distribuição triangular com mínimo, média e máxima de 0.1, 0.4 e 0.8 minutos respectivamente.

O processo operacional, como dito anteriormente, é dividido pelo tipo de carga. Os processos de *gate in*, pátio e *gate out*, possuem uma ação de *Size Delay Release*, ou seja, o caminhão só sai do gate quando todo o processo de atendimento ocorrer de maneira assertiva, através da confirmação de dados do caminhão, do motorista e da carga.

O Porto Itapoá possui quatro *gates* de entrada e quatro de saída. A operação de pátio utiliza os equipamentos de pátio para atendimento dos caminhões externos (que entram pelos *gates*) e para os caminhões internos (que atendem os navios). Mas, a proporção operacional é de 1 equipamento de navio para 3 equipamentos de pátio. Ou seja, o recurso de pátio é modelado como se existisse uma demanda exclusiva de um equipamento disponível somente para atender os caminhões que entram pelo *gate*, conforme pode ser observado na Figura 25.

Figura 25 – Escolha da quantidade de *Resource* no módulo *Process*

	Name	Type	Capacity
1 ▶	Gates_entrada	Fixed Capacity	3
2	Gates_saida	Fixed Capacity	3
3	RTG	Fixed Capacity	1

Fonte: Autora (2019).

As distribuições de atendimento são representadas pela função Triangular, que possui valores de mínimo, média e máximo em tempos conforme mostra a Tabela 6.

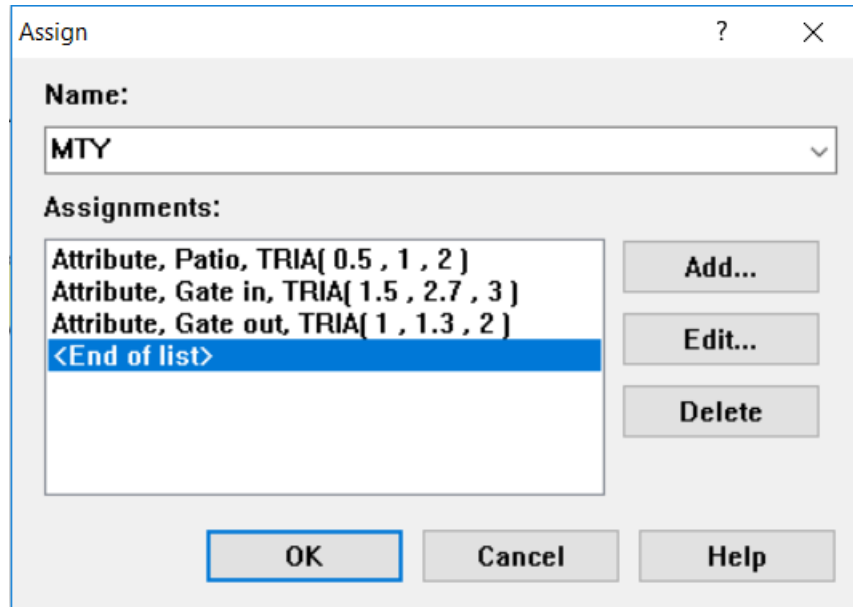
Tabela 6 - Distribuições de atendimento

Módulo Process	Contêiner Vazio (MTY)	Contêiner Cheio (FCL)
<b>Gate In</b>	<i>TRIA</i> (1.5 , 2.7 , 3)	<i>TRIA</i> (1.5 , 2.9 , 3)
<b>Gate out</b>	<i>TRIA</i> (1 , 1.3 , 2)	<i>TRIA</i> (1 , 1.3 , 2)
<b>Pátio</b>	<i>TRIA</i> (0.5 , 1 , 2)	<i>TRIA</i> (1.5 , 2 , 3)

Fonte: Autora, 2019.

Para diferenciar o atendimento em cada uma das etapas, é utilizado o módulo *Assign*, em que é possível diferenciar o atendimento pelo tipo de carga conforme mostra a Figura 26.

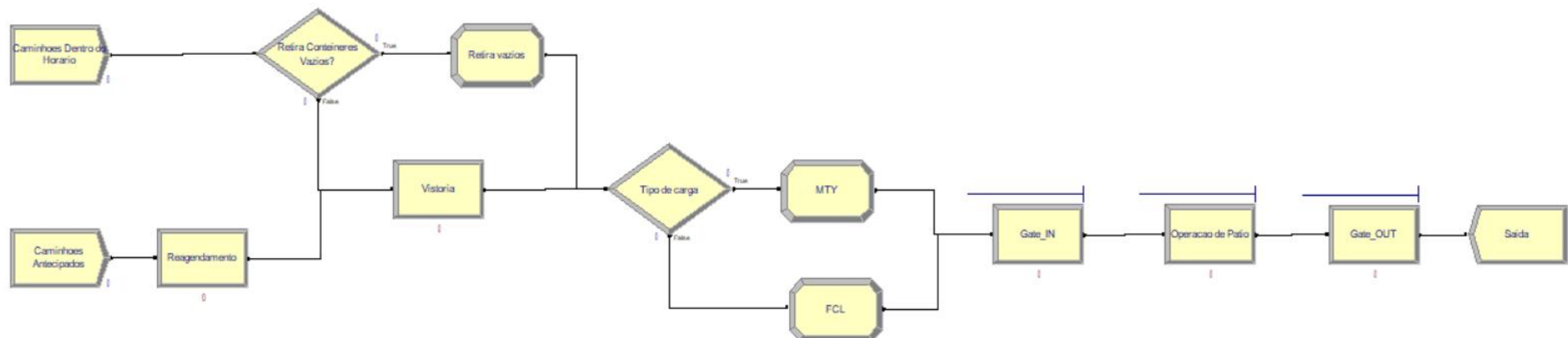
Figura 26 – Módulo *Assign* para cada processamento de uma entidade



Fonte: Autora (2019).

A escolha dos melhores módulos e a inserção dos dados formam o modelo do atendimento de caminhões do ciclo operacional do Porto Itapoá no *software* Arena conforme mostra a Figura 27.



Figura 27 – Modelo de Atendimento de Caminhões no Ciclo Operacional do Porto Itapoá no *Software Arena*

Fonte: Autora (2019).

Após a inserção de todos os dados no modelo, configura-se os requisitos para iniciar a simulação. Este modelo é configurado para simular um período de 1 dia, no caso uma quarta feira do mês de novembro, através de 30 replicações sob a unidade temporal de minutos.

### 3.2.3 Validação do modelo

O *software* Arena gera um relatório com os resultados obtidos. Neste sentido, comparou-se os tempos, em minutos, de atendimento do ciclo operacional dos resultados obtidos com os tempos reais para validação do modelo.

Os resultados para cada uma das entidades e sua comparação pode ser observado nas tabelas Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 7 - Resultado da simulação para caminhões antecipados

Antecipado	Real	Simulação	Varição
<b>Tempo total (minutos)</b>	198,35	200	1%
<b>Quantidade Total de Caminhões</b>	250	241	-4%
<b>Tempo de atendimento (minutos)</b>	6,6	6,3	-4%
<b>Tempo de espera (minutos)</b>	192	193,7	1%

Fonte: Autora, 2019.

Tabela 8 - Resultado da simulação para caminhões previstos

Previsto	Real	Simulação	Varição
<b>Tempo total (minutos)</b>	108,0	115	6%
<b>Quantidade Total de Caminhões</b>	694	643	-7%
<b>Tempo de atendimento (minutos)</b>	6,6	6,3	-4%
<b>Tempo de espera (minutos)</b>	101	108,7	7%

Fonte: Autora, 2019.

Tabela 9 - Resultado da simulação para caminhões de retirada de vazios.

Retira vazio	<b>Real</b>	<b>Simulação</b>	<b>Variação</b>
<b>Tempo total (minutos)</b>	117,3	113	-4%
<b>Quantidade Total de Caminhões</b>	73	65	-11%
<b>Tempo de atendimento (minutos)</b>	5,9	5,8	-2%
<b>Tempo de espera (minutos)</b>	111	107,2	-4%

Fonte: Autora, 2019.

Para a variação de indicadores, observa-se uma variação máxima de 11% abaixo da quantidade real de caminhões de retirada de contêineres vazios. Diante disso, considerou-se que o comportamento das variáveis do modelo de simulação está próximo do comportamento real.

### 3.3 ETAPA EXPERIMENTAÇÃO: SIMULAÇÃO DE DIFERENTES CENÁRIOS

#### 3.3.1 Cenário 1: Janela de agendamento de duas horas

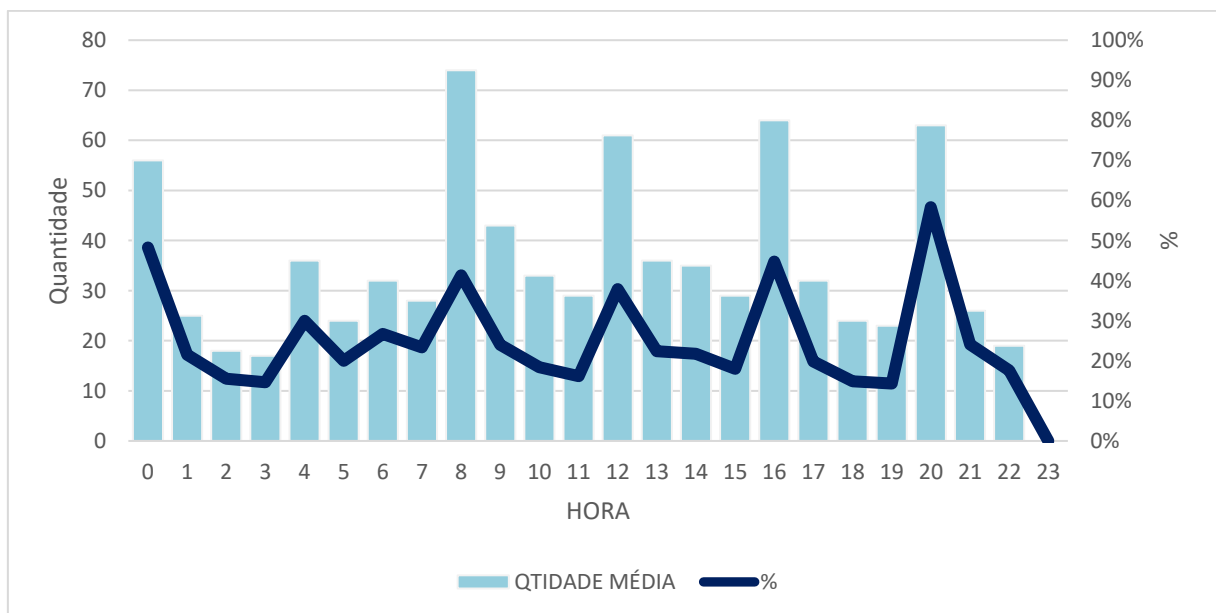
O Cenário base se comporta com uma média de caminhões em picos de chegada no início da janela de atendimento, representando entre 30% e 58% da quantidade total de caminhões da sua janela, conforme apresenta a Tabela 10 e o Gráfico 5.

Tabela 10 – Proporção de caminhões em picos de chegada dentro da janela

Hora	%
0	48%
4	30%
8	41%
12	38%
16	45%
20	58%

Fonte: Autora, 2019.

Gráfico 5 - Proporção de caminhões em picos de chegada dentro da janela



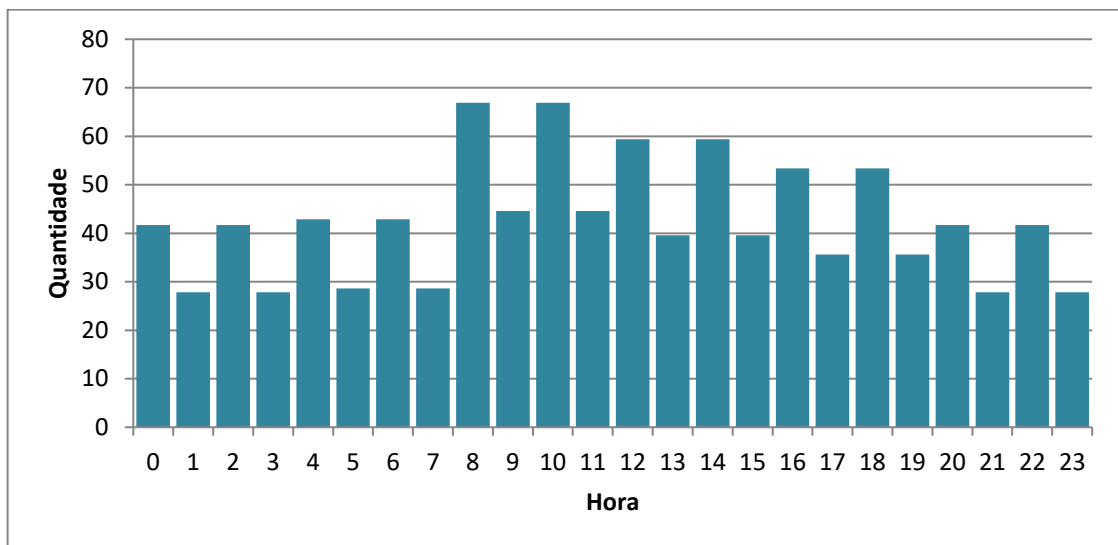
Fonte: Autora, 2019.

O primeiro cenário de análise tem como base uma ideia de modificar o tamanho da janela de agendamento utilizada de 4 para 2 horas supondo que o comportamento será o mesmo para a janela de quatro horas, ou seja, os caminhões chegam na primeira hora da janela. Para isso, supõe-se um cenário da seguinte maneira:

- Soma-se a quantidade total da janela;
- Divide-a em duas;
- Distribui 60% dos caminhões para o primeiro horário e 40% dessa quantidade para o segundo horário.

Então, chega-se a uma distribuição conforme representa o Gráfico 6.

Gráfico 6 - Chegada de caminhões com janela de 2 horas



Fonte: Autora, 2019.

Este cenário apresenta um mínimo 28 e no máximo de 67 caminhões e uma distribuição LogNormal para as entidades de chegada conforme mostra a Tabela 11.

Tabela 11 – Funções de chegada para o cenário 1

Módulo Create	Chegada dentro da janela	Chegada antecipada
<b>Função de chegada</b>	<i>LOGN</i> (2.24 , 0.62)	<i>LOGN</i> (6.09 , 1.68)

Fonte: Autora, 2019.

Este novo comportamento é simulado no Arena que fornece os resultados apresentados, com tempo em minutos, nas tabelas Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14.

Tabela 12 – Resultados da simulação de caminhões antecipados para o cenário 1

<b>Antecipado</b>	<b>Cenário base</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Variação</b>	<b>%</b>
<b>Tempo total</b>	200	197	-3	-2%
<b>Tempo máximo</b>	266	200	-66	-25%
<b>Tempo mínimo</b>	146	192	46	32%
<b>Quantidade Total de Caminhões</b>	241	239	-2	-1%

Fonte: Autora, 2019.

Tabela 13 - Resultados da simulação de caminhões previstos para o cenário 1

<b>Previsto</b>	<b>Cenário base</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Variação</b>	<b>%</b>
<b>Tempo total</b>	115	104	-11	-10%
<b>Tempo máximo</b>	181	108	-73	-40%
<b>Tempo mínimo</b>	64	100	36	56%
<b>Quantidade Total de Caminhões</b>	643	643	0	0%

Fonte: Autora, 2019.

Tabela 14 - Resultados da simulação de caminhões de retirada de vazios para o cenário 1

<b>Retira vazio</b>	<b>Cenário base</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Variação</b>	<b>%</b>
<b>Tempo total</b>	113	100	-13	-12%
<b>Tempo máximo</b>	196	106	-90	-46%
<b>Tempo mínimo</b>	55	86	31	56%
<b>Quantidade Total de Caminhões</b>	65	65	0	0%

Fonte: Autora, 2019.

Análise dos resultados: O cenário 1 apresentou uma pequena redução no tempo total de atendimento, porém uma variação acima de 30% em redução do tempo máximo e aumento maior que 40% para o tempo mínimo no processo. Ou seja, o cenário simulado prevê maior controle para os caminhões ao longo do dia.

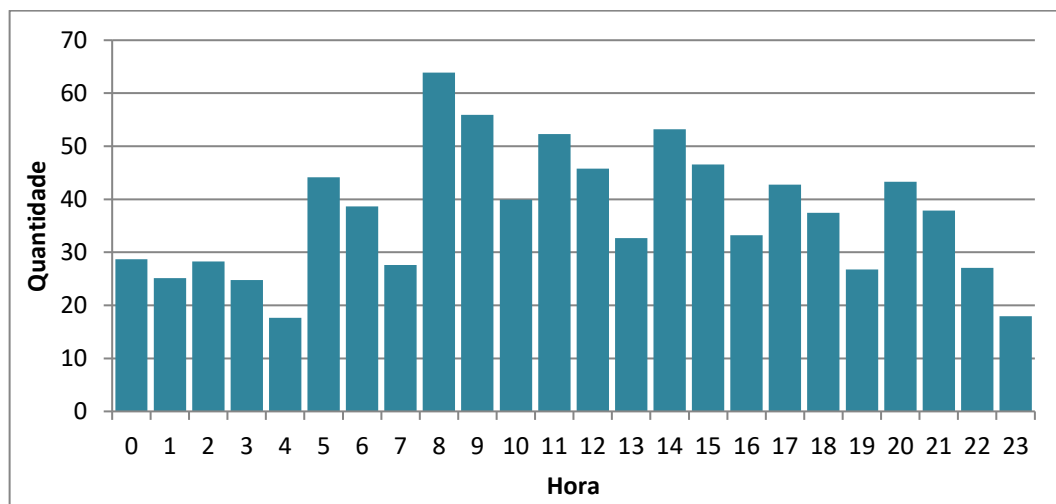
### 3.3.2 Cenário 2: Janela de agendamento de três horas

O segundo cenário simula a mesma situação do cenário anterior, porém para valiar o comportamento dos caminhões com a modificação da janela de agendamento utilizada de 4 para 3 horas. Para isso, supõe-se um comportamento da seguinte maneira:

- Soma-se a quantidade total dos caminhões que chegam nas 3 horas determinadas;
- Distribui 40% dos caminhões para o primeiro horário, 35% para o segundo e 25% para o terceiro.

Então, chega-se a uma distribuição conforme apresenta no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Chegada de caminhões com janela de 3 horas



Fonte: Autora, 2019.

Mantém-se o comportamento de que os caminhões chegam em maior quantidade no início da janela, mesmo que reduzida. Para a etapa de simulação é utilizada a função de chegada conforme mostra a Tabela 15.

Tabela 15 - Funções de chegada para o cenário 2

Módulo Create	Chegada dentro da janela	Chegada antecipada
<b>Função de chegada</b>	<i>LOGN</i> (2.2 , 0.8)	<i>LOGN</i> (6.1 , 2.2)

Fonte: Autora, 2019.

O resultado da simulação é apresentado nas Tabelas Tabela 16, Tabela 17 e Tabela 18.

Tabela 16 - Resultados da simulação de caminhões antecipados para o cenário 2

<b>Antecipado</b>	<b>Cenário base</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Variação</b>	<b>Variação</b>
<b>Tempo total</b>	200	184	-16	-8%
<b>Tempo máximo</b>	266	195	-71	-27%
<b>Tempo mínimo</b>	146	168	22	15%
<b>Quantidade Total de Caminhões</b>	241	235	-6	-2%

Fonte: Autora, 2019.

Tabela 17- Resultados da simulação de caminhões previstos para o cenário 2

<b>Previsto</b>	<b>Cenário base</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Variação</b>	<b>Variação</b>
<b>Tempo total</b>	115	100	-15	-13%
<b>Tempo máximo</b>	266	107	-159	-60%
<b>Tempo mínimo</b>	146	89	-57	-39%
<b>Quantidade Total de Caminhões</b>	643	650	7	1%

Fonte: Autora, 2019.

Tabela 18 - Resultados da simulação de caminhões de retirada de vazios para o cenário 2

<b>Retira vazio</b>	<b>Cenário base</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Variação</b>	<b>Variação</b>
<b>Tempo total</b>	113	95	-18	-16%
<b>Tempo máximo</b>	266	104	-162	-61%
<b>Tempo mínimo</b>	146	83	-63	-43%
<b>Quantidade Total de Caminhões</b>	65	63	-2	-3%

Fonte: Autora, 2019.



Análise dos resultados: O segundo cenário apresenta uma variação maior que o primeiro, com redução de 60% no tempo máximo e aumento de 40% no tempo mínimo. Porém este cenário depende proporcionalmente do comportamento de chegada dos caminhões neste formato de janela.

### 3.3.3 Cenário 3: Terceira fase de expansão física do Porto Itapoá

Tabela 19 – Número de equipamentos para operação fase 3 de expansão

Equipamentos	<b>FASE 2 (ATUAL)</b>	<b>FASE 3 (EXPANSÃO)</b>
<b>Portêineres</b>	6	13
<b>RTGs</b>	13	27

Fonte: Autora, 2019.

A proporção de equipamentos disponíveis para uma operação de pátio considerando o atendimento simultâneo de navios na sua máxima capacidade, ou seja, o pico de atendimento, é de um equipamento para atender os caminhões que chegam do *gate* e o resto para atender os navios. Simula-se então a quantidade de 2 máquinas exclusivas, conforme apresenta o cenário de expansão apresentado na Tabela 19, e obtém-se como resultados na

Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22.

Tabela 20 - Resultados da simulação de caminhões antecipados para o cenário 3

<b>Antecipado</b>	<b>Cenário base</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Variação</b>
<b>Tempo total</b>	200	203	2%
<b>Quantidade total de caminhões</b>	241	480	99%

Fonte: Autora, 2019.

Tabela 21- Resultados da simulação de caminhões previstos para o cenário 3

<b>Previsto</b>	<b>Cenário base</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Variação</b>
<b>Tempo total</b>	115	116	1%
<b>Quantidade total de caminhões</b>	643	1.327	106%

Fonte: Autora, 2019.

Tabela 22 - Resultados da simulação de caminhões de retirada de vazios para o cenário 3

<b>Retira vazio</b>	<b>Cenário base</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Varição</b>
<b>Tempo total</b>	113	117	4%
<b>Quantidade total de caminhões</b>	65	132	103%

Fonte: Autora, 2019.

Análise dos resultados: Este cenário mostra que para a terceira fase de expansão, com o dobro de equipamentos, também é possível receber um pouco mais que o dobro de caminhões e manter o mesmo nível de serviço.

### 3.3.4 Cenário 4: Área exclusiva para deixar as cargas

Este cenário simula o uso de uma área chama de *buffer*, em que os caminhões deixam a carga neste local para reduzir o tempo de espera de atendimento. Então, em dias e horas de pouco movimento (finais de semana ou madrugada por exemplo) essas cargas são realocadas no local de pátio planejado. O tempo de atendimento é representado na Tabela 23, os resultados apresentados nas tabelas Tabela 24Tabela 25Tabela 26.

Tabela 23 – *Input* de dados para a simulação do cenário 4

Atendimento	<b>Contêiner Vazio (MTY)</b>	<b>Contêiner Cheio (FCL)</b>
<b>Pátio</b>	<i>TRIA</i> (0.3 , 0.5 , 1)	<i>TRIA</i> (0.4 , 0.6 , 1.5)

Fonte: Autora, 2019.

Tabela 24- Resultados da simulação de caminhões antecipados para o cenário 4

Antecipado	<b>Cenário base</b>	<b>Cenário 4</b>	<b>Varição</b>	<b>%</b>
<b>Tempo total</b>	200	86	-114	-57%
<b>Quantidade total de caminhões</b>	241	241	0	0%

Fonte: Autora, 2019.

Tabela 25 - Resultados da simulação de caminhões previstos para o cenário 5

Previsto	Cenário base	Cenário 4	Variação	%
<b>Tempo total</b>	115	5	-110	-96%
<b>Quantidade total de caminhões</b>	643	643	0	0%

Fonte: Autora, 2019.

Tabela 26 - Resultados da simulação de caminhões de retirada de vazios para o cenário 4

Retira vazio	Cenário base	Cenário 4	Variação	%
<b>Tempo total</b>	113	5	-108	-96%
<b>Quantidade total de caminhões</b>	65	65	0	0%

Fonte: Autora, 2019.

Análise dos resultados: Neste cenário fica claro que a estratégia de *buffer* facilita em momentos na hora de pico reduzindo o tempo de atendimento. Porém, deve-se considerar também o local e a distância em que se encontra do *gate*. Também deve-se considerar que em algum momento acontece a realocação de cargas, na qual se utiliza os equipamentos portuários novamente.

### 3.4 ETAPA CONCLUSÃO: ANÁLISE DOS CENÁRIOS

Os cenários apresentados neste trabalho mostram que o principal gargalo de atendimento acontece no pátio pois, na prática, o atendimento de *gate* é controlado pela equipe de apoio, que direciona o momento de entrada. A fila formada para a entrada do terminal acontece devido ao atendimento no pátio. A fila formada dentro do pátio ocorre para a saída dos caminhões após serem atendidos. Mesmo que o tempo de atendimento médio do *gate out* seja menor que o *gate in*, o espaço físico do pátio se torna um gargalo para a formação de filas, pois neste espaço divide-se o atendimento de caminhões internos e externos.

A redução da janela de agendamento apresentadas nos cenários 1 e 2 se mostraram favoráveis para o controle do atendimento dos caminhões, pois a quantidade se dissolve ao longo das janelas. Porém, é importante ressaltar que o comportamento nestas janelas é apenas hipotético, sugestionando então simular diferentes comportamentos e comprar com um teste real.

A capacidade de atendimento para o cenário de expansão física se mostrou proporcional a quantidade de equipamentos para atendimento no pátio. Porém, a simulação não incluiu a distância percorrida dos caminhões aos equipamentos, e não incluiu a simulação do atendimento do navio e o uso dos caminhões internos.

A utilização do *buffer* no último cenário, se mostrou favorável, pois é como se o tempo de atendimento no pátio reduzisse. Porém é importante ressaltar que a realocação dos contêineres demandaria a utilização dos equipamentos. Se planejado devidamente, pode ser uma alternativa para redução de gargalos operacionais.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo simular o processo de atendimento dos caminhões no ciclo operacional do Porto Itapoá. Para isso, foi feito um estudo sobre o processo operacional do objeto de estudo, seu mapeamento, modelagem e análise de dados.

Através do *software* Arena, simulou-se o processo mapeado com o objetivo de alcançar o cenário real. O programa permitiu também a simulação de cenários para o tempo de atendimento.

Os dois primeiros cenários se basearam na variação do comportamento de chegada dos caminhões através da redução do tempo de janelas de agendamento, dissolvendo o pico de caminhões ao longo dos horários. Apesar do tempo médio de atendimento não ter alterado do cenário real, a variação entre os tempos máximo e mínimo reduziram, tornando o atendimento mais contínuo e previsível. Porém, o comportamento com a alteração das janelas é somente uma hipótese, podendo este cenário obter variações nos resultados.

O cenário 3 simulou a expansão física do Porto Itapoá, em que a quantidade de equipamentos deve aumentar. Mantendo o nível de serviço, a capacidade de recebimento de caminhões cresce na mesma proporção.

O cenário número 4 foi elaborado em cima de uma atividade para situações de alto pico, em que se reduz o tempo de atendimento dos caminhões e utiliza-se uma área somente para deixarem as cargas. Este cenário aumentou o nível de serviço devido a redução do tempo de atendimento dentro do pátio.

Diante de todos os cenários obtidos, torna-se claro o impacto que o tempo de atendimento no pátio causa nas filas, no tempo de atendimento e, conseqüentemente, no nível de serviço. É importante ressaltar que a operação de pátio ocorreu de forma simplista, sendo interpretado somente por um recurso, quando na realidade ocorre através de maior número de variáveis operacionais.

O mapeamento do processo é muito importante para o uso dos dados, o entendimento dos cenários e a validação dos resultados, assim como o entendimento e acompanhamento do cenário operacional.

Para trabalhos futuros sugere-se a coleta de dados práticos não captados pelos relatórios envolvidos nos processos para comparação aos cenários simulados. Propõe-se a inclusão de maior detalhamento no processo operacional de pátio e de cais em busca de resultados mais expressivos e refinados.

## REFERÊNCIAS

- (ABPMP), Association Of Business Process Management Professionals. **Guia para o Gerenciamento de Processos de Negócio Corpo Comum de Conhecimento ABPMP BPM CBOOK**. 2. ed. Brasil: Abpmp, 2013.
- (ABRACOMEX), Associação Brasileira de Consultoria e Assessoria em Comércio Exterior. **Essencial Para O Comércio Exterior, Transporte Marítimo Avança No Brasil**. 2017. Disponível em: <<https://www.abracomex.org/essencial-para-o-comercio-exterior-transporte-maritimo-avanca-no-brasil>>. Acesso em: 15 mai. 2019.
- ALDERTON, Professor Patrick M.. **Port Management and Operations: LLOYD'S PRACTICAL SHIPPING GUIDES**. 3. ed. Londres: Informa Law, 2008.
- ALTIOK, Tayfur; MELAMED, Benjamin. **Simulation Modeling and Analysis with Arena**. New Jersey, Usa: Elsevier, 2007.
- BARAT, Josef et al. **Logística e Transporte no Processo de Globalização**. São Paulo: Editora Unesp, 2007.
- BEAVERSTOCK, Malcom et al. **Applied Simulation: Modeling and Analysis using Flexsim**. Utah, Usa: Flexsim Software Products, 2011.
- BICHOU, Khalid. **Port Operations, Planning and Logistics: Lloyd's practical shipping guide**. Oxon: Informa Law, 2013.
- BRIESEMEISTER, Roberta. **CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE PRODUTOS DENTRO DO CONCEITO DE CROSS-DOCKING: MODELAGEM MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO**. 2017. 191 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- CAMPOS, André L. N.. **Modelagem de Processos com BPMN**. 2. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2014.
- CARVALHO, Leonardo Sanches de. Modelagem e simulação: poderosa ferramenta para a otimização de operações logísticas. **Bahia Análise & Dados**. Salvador, p. 267-274. set. 2003.
- CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso Celso. INTRODUÇÃO AO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO SIMUL8. **XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. Goinânia, p. 2571-2580. set. 2006. Disponível em: <<http://din.uem.br/sbpo/sbpo2006/pdf/arq0283.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2019.
- COOPER, Donald R; SCHINDLER, Pamela S. **Métodos de Pesquisa em Administração**. 12. ed. São Paulo: Amgh, 2016.
- FREITAS FILHO, Paulo José **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações arena**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.
- HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. McGraw Hill Brasil, 2013.

LOPES, Raiza Bender. **MAPEAMENTO DOS PROCESSOS E SIMULAÇÃO DE UM TERMINAL REGULADOR DE CONTÊINER**. 2016. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Transportes e Logística, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

MAGALHÃES, Petrônio Sá Benevides. **Transporte Marítimo: cargas, navios, portos e terminais**. São Paulo: Edições Aduaneiras Ltda., 2014. 242 p.

MARINS, Fernando Augusto Silva. **Introdução à pesquisa operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, 2011.

MARLOW, Peter B.; CASACA, Ana C. Paixão. Measuring lean ports performance. **International Journal Of Transportmanagement 1 (2003) 189–202**, Wales, Uk, p.189-202, 2003.

MONIÉ, Frédéric. Globalização, modernização do sistema portuário e relações cidade/porto no Brasil. **Geografia dos Transportes, Circulação e Logística no Brasil**. São Paulo, v.1, n. 624, p. 299-330, 2011.

MONIÉ, Frédéric; VIDAL, Soraia Maria do S. C. Cidades, portos e cidades portuárias na era da integração produtiva. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 40, p. 975-995, nov. 2006.

NANIOPOULOS, Aristotelis et al. **WORKPORT: Work organisation in ports**. Thessaloniki-Macedonia: European Commission Dg Vii, 2000.

PATON, David. Quantitative Modules. In: PATON, David; LARNER, Jeremy; SINCLAIR, Alison. **Waiting-line models**. 3. ed. Nottingham: Pearson Education, 2014. p. 774-769.

PAVANI JUNIOR, Orlando; SCUCUGLIA, Rafael. **Mapeamento e Gestão Por Processos**. São Paulo: M.books, 2011.

**PLANO NACIONAL DE LOGÍSTICA PORTUÁRIA (PNLP)**. Brasília: Secretaria de Portos, 2015.

PORTO ITPOÁ. **Com expansão Porto Itapoá registra novo recorde operacional**.

Disponível em:

[http://www.portoitapoa.com.br/noticia/Com\\_expansao\\_Porto\\_Itapoa\\_registra\\_novo\\_recorde\\_operacional/539](http://www.portoitapoa.com.br/noticia/Com_expansao_Porto_Itapoa_registra_novo_recorde_operacional/539). Acesso em: 24 abr. 2019.

PORTO ITPOÁ. **Com expansão Porto Itapoá registra novo recorde operacional**.

Disponível em:

[http://www.portoitapoa.com.br/noticia/Com\\_expansao\\_Porto\\_Itapoa\\_registra\\_novo\\_recorde\\_operacional/539](http://www.portoitapoa.com.br/noticia/Com_expansao_Porto_Itapoa_registra_novo_recorde_operacional/539). Acesso em: 24 abr. 2018.

PORTO ITPOÁ. **Infraestrutura**. Disponível em:

<http://www.portoitapoa.com.br/institucional/68>. Acesso em: 22 jun. 2019.

PORTO ITPOÁ. **Institucional**. Disponível em:

<http://www.portoitapoa.com.br/institucional/73>. Acesso em: 30 mai. 2019.

PRADO, Darci. **Usando o Arena em simulação**. 5. ed. Nova Lima: FALCONI Editora, 2014.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013.

RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e à Logística Internacional**. 2. ed. São Paulo: Aduaneiras, 2007.

ROJAS, Pablo. **Introdução à Logística Portuária: Noções de Comércio Exterior**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

SILVA, André Koide da. **Método para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos aplicados à análise de sistemas logísticos**. 2006. 191 f. Tese (Mestrado) – Engenharia de Sistemas Logísticos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SIMÃO, José Carlos Dias. **Gestão da informação na intermodalidade e logística portuária**. 2012. 153 f. Tese (Mestrado) - Curso de Escola Superior de Ciências empresariais, Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, 2012.

SONG, Dong-wook; PANAYIDES, Photis M. **Maritime Logistics: contemporary issues**. Bingley , Uk: Emerald, 2012.

TAHA, Hamdy. **Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2008.

VENTURA, Fabiano Luiz Fossatti. **UTILIZANDO SIMULAÇÃO PARA A AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO CENTRO DE REPAROS DE EQUIPAMENTOS DE DIAGNÓSTICO IN VITRO DE UMA MULTINACIONAL**. 2018. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Transportes e Logística, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

WATANABE, Itsuro. **Container Terminal Planning: A Theoretical Approach**. Ashtgad, Reino Unido: Wcn Publishing, 2001. 245 p.

ZENG, Qingcheng; YANG, Zhongzhen. **Integrating simulation and optimization to schedule loading operations in container terminals**. Elsevier, China, p.1935-1944, jun. 2019.