

CLARISSA COELHO MENDES

**SIMULAÇÃO DO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE UM FORNECEDOR DE  
SERVIÇOS LOGÍSTICOS PARA UMA REDE DE RESTAURANTES**

São Paulo

2022



CLARISSA COELHO MENDES

**SIMULAÇÃO DO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE UM FORNECEDOR DE  
SERVIÇOS LOGÍSTICOS PARA UMA REDE DE RESTAURANTES**

Trabalho de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do Diploma de  
Engenheira de Produção.

Orientador: Professor Dr. Daniel de  
Oliveira Mota

São Paulo  
2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação-na-publicação

Mendes, Clarissa Coelho

Simulação do centro de distribuição de um fornecedor de serviços logísticos para uma rede de restaurantes / C.C. Mendes – São Paulo, 2022

101p.

Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção

1. Simulação 2. Armazém I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

À minha família



## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a minha família. À minha irmã Raísa pelo apoio incondicional em todos os altos e baixos dos anos de graduação, e aos meus pais, Vanda e Antonio, por construírem um ambiente de valorização da educação e do trabalho.

Agradeço ao professor Daniel Mota pelo incentivo e paciência ao longo da elaboração deste trabalho e também por me apresentar o armazém e a empresa que motivaram o estudo. Sua disponibilidade e disposição para transmitir um pedacinho do seu conhecimento foram essenciais para a execução do projeto.

Agradeço à Viviane, cujo suporte foi fundamental nos momentos mais críticos, por sempre me acolher e trazer calma.

Agradeço aos amigos que conheci na faculdade e àqueles que me acompanham desde os tempos de colégio. Espero que as amizades resistam aos anos e que possamos estar sempre conectados de alguma forma.

Por fim, agradeço à equipe de remo da Poli, por me apresentar o esporte e um novo hobby. Agradeço por proporcionar convivência com pessoas incríveis e por desafiar constantemente meus limites e medos.



*“Só hoje me dou conta de que*

*distintivos só valem no contexto.*

*Sem contexto, importa o que a gente*

*mostra que sabe fazer, quem a gente*

*é quando o bicho pega, o que sobra*

*quando não há papéis nem energia*

*e ficam o corpo e a mente*

*na sala vazia.”*

(Tamara Klink)



## **RESUMO**

Este trabalho foi idealizado como um estudo dos processos de carregamento e de descarregamento de caminhões em um armazém de produtos alimentícios. Com o intuito de analisar os processos em questão, foi empregada a modelagem de simulação de eventos discretos para retratar o sistema do armazém durante as atividades de inbound e outbound. A simulação foi construída no software AnyLogic, por meio de dados qualitativos e quantitativos coletados durante visitação ao armazém, com entrevistas não estruturadas com funcionários e observação da operação, e obtidos por pesquisas em outras fontes de informações logísticas. O estudo seguiu a Metodologia de Simulação de Chwif e Medina, dividindo-se em fases de concepção, implementação e análise dos resultados.

Após a construção dos modelos de simulação base, isto é, que representam a situação atual da operação, o estudo buscou analisar possíveis cenários alternativos. Foram levadas em consideração a alteração do número de empilhadeiras e da distribuição de paletes nos caminhões e a variação da demanda do mercado, com aumento ou diminuição da taxa de entrada de caminhões no sistema. Por fim, o trabalho propõe-se a refletir a respeito dos resultados obtidos na simulação base e dos resultados gerados pelos cenários alternativos.

**Palavras-chave:** Simulação. Armazém. Empilhadeira. AnyLogic. Carregamento de caminhão. Descarregamento de caminhão



## ABSTRACT

This paper was conceived as a study of the loading and unloading processes of trucks in a food product warehouse. In order to analyze the processes in question, a discrete-event simulation was applied to model the warehouse system during its inbound and outbound activities. The simulation was built in the AnyLogic software, using quantitative and qualitative data collected during visits to the warehouse, with unstructured interviews with employees and observation of the operation, and obtained through research in other sources of logistical information. The study followed the Simulation Methodology, developed by Chwif and Medina, divided into stages of conception, implementation, and analysis of results.

After building the base simulation models that simulated the current situation of the operation, the study aimed to analyze possible alternative scenarios. The scenarios that were considered included the variation in the number of forklifts, the distribution of pallets on trucks and the changes in market demand, with an increase or decrease in the rate of truck entry into the system. Finally, the study conducted a reflection on the results obtained in the base model simulation and the results generated by the alternative scenarios.

**Keywords:** Simulation. Warehouse. Forklift. AnyLogic. Truck loading. Truck unloading.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo geral da cadeia de suprimentos.....	31
Figura 2 - Configuração básica de um armazém .....	33
Figura 3 - Esquema dos processos básicos nos armazéns .....	34
Figura 4 – Estruturas porta palete.....	36
Figura 5 - Estruturas <i>push back</i> .....	36
Figura 6 - Métodos de modelagem de simulação .....	39
Figura 7 - Esquema básico de um modelo de evento discreto.....	41
Figura 8 - Exemplo de um modelo de evento discreto do processo de entrada de carros em um estacionamento .....	42
Figura 9 - Formação de fila de entidades (carros) para entrada na estação de serviço (cancela de entrada) .....	42
Figura 10 - Exemplo de modelo de simulação no AnyLogic .....	43
Figura 11 - Metodologia de Simulação de Chwif e Medina.....	45
Figura 12 - Metodologia aplicada no estudo, baseada em Chwif e Medina.....	47
Figura 13 - Esboço da instalação do armazém da Warehouse&Co, fora de escala.....	49
Figura 14 - Esboço das áreas cobertas do armazém, fora de escala .....	49
Figura 15 Regiões de expedição das áreas de armazenamento .....	51
Figura 16 - Configuração de um caminhão padrão da Warehouse&Co.....	52
Figura 17 - Planta do armazém da Warehouse&Co .....	53
Figura 18 - Área de congelados.....	54
Figura 19 - Área de resfriados .....	55
Figura 20 - Vista da área de secos (à esquerda) e região de <i>picking</i> da área de secos (à direita) .....	56
Figura 21 - Região de manutenção, localizada na área de secos .....	57
Figura 22 - Código de barras identificador presente nos porta paletes .....	58
Figura 23 - Modelo conceitual do processo de carregamento de caminhões .....	61
Figura 24 - Modelo conceitual do processo de descarregamento de caminhões .....	64
Figura 25 - Rotas de carregamento de paletes de áreas de armazenamento para docas .....	66
Figura 26 - Rotas de descarregamento de paletes de áreas de armazenamento para docas .....	68
Figura 27 - Modelo de simulação do processo de carregamento de caminhões.....	75
Figura 28 - Modelo de simulação do processo de descarregamento de caminhões .....	78
Figura 29 - Modelo de simulação do cenário alternativo 3 de carregamento de caminhões....	88



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tempo de ciclo médio por caminhão em função do número de empilhadeiras (cenário alternativo 1A).....	82
Gráfico 2 - Filas médias em função do número de empilhadeiras (cenário alternativo 1A)....	82
Gráfico 3 - Tempo de ciclo médio por caminhão em função do número de empilhadeiras (cenário alternativo 1B).....	84
Gráfico 4 - Filas médias em função do número de empilhadeiras (cenário alternativo 1B) ....	85
Gráfico 5 - Tempo de ciclo médio por caminhão em função da taxa de entrada de caminhões (cenário alternativo 2).....	86
Gráfico 6 - Tempo de ciclo médio por caminhão em função do número de empilhadeiras (cenário alternativo 3).....	89
Gráfico 7 - Fila média de paletes em função de empilhadeiras adicionais na área de produtos congelados .....	93
Gráfico 8 - Fila média de paletes em função de empilhadeiras adicionais na área de produtos resfriados .....	93
Gráfico 9 - Fila média de paletes em função de empilhadeiras adicionais na área de produtos secos .....	94



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem do custo logístico em relação à receita de vendas em 2020 .....	26
Tabela 2: Porcentagem do custo logístico em relação à receita de vendas por indústria, em 2020 .....	26
Tabela 3 - Participação dos tempos das atividades de separação .....	37
Tabela 4 - Blocos da biblioteca do software AnyLogic utilizados nos modelos de simulação do projeto.....	44
Tabela 5 - Etapas de carregamento de caminhões.....	60
Tabela 6 - Etapas de descarregamento de caminhões.....	62
Tabela 7 - Dados quantitativos, respectivos valores e fontes de origem.....	65
Tabela 8 - Tempos de movimentação de empilhadeiras das áreas de expedição para as docas .....	67
Tabela 9 - Tempos de movimentação de empilhadeiras das docas para a entrada das áreas de armazenamento .....	68
Tabela 10 Tempos de movimentação de empilhadeiras de entrada das áreas de armazenamento para respectivos locais de estoque.....	69
Tabela 11 - Critérios de validação dos modelos de simulação.....	70
Tabela 12 - Blocos, agentes e recursos do processo de carregamento de caminhões .....	73
Tabela 13 - Blocos, agentes e recursos do processo de descarregamento de caminhões .....	75
Tabela 14 - Indicadores obtidos na simulação do cenário atual de carregamento de caminhões .....	80
Tabela 15 - Indicadores em função do número de empilhadeiras disponíveis na antecâmara (cenário alternativo 1A).....	80
Tabela 16 - Indicadores em função do número de empilhadeiras disponíveis na antecâmara (cenário alternativo 1B) .....	83
Tabela 17 - Indicadores do cenário atual em função da taxa de entrada de caminhões (cenário alternativo 2).....	85
Tabela 18 - Tempo de ciclo do caminhão (h) em relação ao número de empilhadeiras e taxa de entrada de caminhões (cenário alternativo 2) .....	87
Tabela 19 Definição de caminhões homogêneos (cenário alternativo 3) .....	88
Tabela 20 - Indicadores obtidos na simulação do cenário atual e do cenário alternativo 3 de carregamento .....	89

Tabela 21 - Tempo de ciclo do caminhão (h) em relação ao número de empilhadeiras e taxa de entrada de caminhões (cenário alternativo 3) .....	90
Tabela 22 - Indicadores obtidos na simulação do cenário atual de carregamento .....	91
Tabela 23 - Indicadores em função da adição de empilhadeiras extras (cenário alternativo 1).....	92
Tabela 24 - Indicadores em função da taxa de entrada de caminhões e da adição de empilhadeiras extras (cenário alternativo 2) .....	94
Tabela 25 - comparação entre melhores desempenhos obtidos nos cenários alternativos de carregamento .....	97

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>3PL</b>	<i>Third-Party Logistics</i>
<b>3T</b>	3 Temperaturas
<b>ABS</b>	<i>Agent-Based Simulation</i>
<b>CD</b>	Centro de Distribuição
<b>CSCMP</b>	<i>Council of Supply Chain Management Professionals</i>
<b>SKU</b>	<i>Stock Keeping Unit</i>
<b>TNT</b>	Tecido Não Tecido
<b>WMS</b>	<i>Warehouse Management System</i>



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>1.1 Contexto.....</b>	<b>25</b>
<b>1.2 Sobre a empresa.....</b>	<b>27</b>
<b>1.3 Motivação .....</b>	<b>27</b>
<b>1.4 Objetivos do trabalho.....</b>	<b>28</b>
<b>1.5 Estrutura do Trabalho .....</b>	<b>29</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>30</b>
<b>2.1 Cadeia de suprimentos .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2 Armazéns.....</b>	<b>32</b>
2.2.1 Processos básicos de um armazém .....	34
<b>2.3 Modelagem e simulação .....</b>	<b>38</b>
2.3.1 Sistemas dinâmicos .....	40
2.3.2 Modelagem baseada em agentes.....	40
2.3.3 Modelagem de eventos discretos.....	40
<b>2.4 Software de simulação.....</b>	<b>43</b>
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1 Etapas de um projeto de simulação .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2 Visita ao centro de distribuição.....</b>	<b>48</b>
<b>4. CONCEPÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>5. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO .....</b>	<b>69</b>
<b>6. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>79</b>

<b>6.1 Carregamento de caminhões.....</b>	<b>79</b>
<b>6.2 Descarregamento de caminhões.....</b>	<b>90</b>
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>96</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>98</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Contexto

A prática da armazenagem acompanha a humanidade desde seus primórdios. Os primeiros registros de estocagem datam da pré-história (ACKERMAN, 1990), quando os primeiros homens faziam uso da armazenagem de alimentos para garantir sua sobrevivência em tempos de escassez. A armazenagem popularizou-se na sociedade com o estoque de grãos para consumo e comércio entre produtores e reserva de sementes para plantação. Existem também registros do Império Romano que narram o papel estratégico da armazenagem de armamentos e suprimentos alimentícios para combatentes em guerras (PORTAL IC, 2019).

No decorrer dos séculos, as mudanças trazidas pela Revolução Industrial impulsionaram saltos de desenvolvimento dos armazéns. A 2ª Revolução Industrial, nos séculos XIX e XX, foi marcada pela criação e modernização de máquinas e aceleração do ritmo industrial (BRANCO, 2022), fatos que incentivaram o desenvolvimento do gerenciamento dos armazéns. Na década de 1920, por exemplo, a evolução dos racks de paletes e a invenção da empilhadeira permitiram o melhor aproveitamento do espaço dos armazéns e o deslocamento de mercadorias (3PL CENTRAL, 2020).

No mundo contemporâneo, a crescente competição entre empresas e a busca por eficiência acentuou a importância da otimização da operação logística. Segundo um estudo conduzido por Alicke (2018) na consultoria McKinsey, globalmente as organizações gastam cerca de €300 bilhões ao ano em armazenamento. A consultoria afirma que mais de 85% desse valor é alocado em custos operacionais, como mão de obra, espaço e equipamentos.

Ao se analisar em relação à receita total de vendas, o custo logístico representa em média 8,39% da receita obtida com vendas (ESTABLISH, 2021). A Tabela 1 mostra a participação do custo logístico, desdobrado em transporte, manutenção de inventário (18% do valor médio do inventário), armazenagem, suprimentos e administração, em relação à receita de vendas em 2020. Os resultados são provenientes de uma pesquisa da Establish Davis Database realizado anualmente com organizações manufatureiras, distribuidores e varejistas.

Tabela 1 - Porcentagem do custo logístico em relação à receita de vendas em 2020

Dimensão	Custo logístico médio (% receita de vendas)	Participação média no custo logístico (%)
Transporte	3,68%	43,9%
Manutenção de inventário	1,94%	24,4%
Armazenamento	2,05%	23,2%
Suprimentos	0,33%	4,5%
Administração	0,38%	3,9%
<b>Total</b>	<b>8,39%</b>	<b>100%</b>

Fonte: Establish (2021)

Quando se examina os resultados da pesquisa por indústria (Tabela 2), observa-se que o peso da logística varia de acordo com o tipo de produto em questão. A indústria alimentícia, ramo da empresa estudada neste trabalho, apresenta custo logístico relativo à receita total de 9,36%, acima da média global da pesquisa.

Tabela 2: Porcentagem do custo logístico em relação à receita de vendas por indústria, em 2020

Indústria	Transporte	Manutenção de inventário	Armazenamento	Suprimentos	Administração	%
Vestuário e calçado	3,65%	2,22%	2,81%	0,33%	0,38%	<b>9,39%</b>
Automotivo e peças	3,75%	1,84%	2,27%	0,49%	0,39%	<b>8,74%</b>
Material de construção	4,64%	1,36%	2,40%	0,42%	0,48%	<b>9,30%</b>
Bens de consumo	3,97%	1,88%	2,68%	1,02%	0,41%	<b>9,96%</b>
Eletrônicos	2,38%	1,31%	1,09%	0,61%	0,25%	<b>5,64%</b>
Alimentício	4,76%	1,73%	2,13%	0,25%	0,49%	<b>9,36%</b>
Equipamentos industriais	3,29%	2,38%	1,63%	0,47%	0,34%	<b>8,11%</b>
Equipamentos médicos	3,07%	1,89%	1,53%	1,13%	0,32%	<b>7,94%</b>
Farmacêutico	3,13%	1,50%	1,35%	0,28%	0,32%	<b>6,58%</b>

Fonte: Establish (2021)

## 1.2 Sobre a empresa

Este trabalho tem como objeto de estudo a Warehouse&Co, nomeada de modo fictício para manter o sigilo de sua estrutura e informações operacionais. A organização é especializada em oferecer mundialmente soluções em *supply chain* e possui como principal competência o gerenciamento estratégico de cadeias de suprimentos alimentícios, destacando-se como responsável pelo armazenamento e distribuição de grandes redes de restaurantes.

Globalmente, a organização está presente em 18 países, abastece mais de 25.000 restaurantes e possui cerca de 12.000 colaboradores. No Brasil, a Warehouse&Co conta com 5 centros de distribuição e 11 *cross-dockings*, atende aproximadamente 4.600 restaurantes e emprega 900 funcionários. Estima-se que, anualmente, a empresa maneje 44 milhões de caixas por ano.

Além de oferecer soluções logística para redes de restaurantes de grande porte, a empresa dispõe de 3 outras frentes de atuação:

- a) atendimento de demandas de fretes variados, seguindo o modelo logístico *backhaul*;
- b) distribuição de *food service* em nível nacional a restaurantes de diversos portes; e
- c) desenvolvimento e oferta de soluções em comércio exterior.

Este trabalho é centrado na operação do principal cliente da Warehouse&Co no Brasil, uma grande rede de restaurante *fast food*, denominada Fast&Food no decorrer deste estudo. O transporte, armazenamento e distribuição de seus alimentos, embalagens, utensílios e demais materiais são integralmente realizados pela Warehouse&Co no território nacional. Dessa forma, a empresa deve garantir o abastecimento adequado, isto é, em conformidade com legislação sanitária, prazo de entrega nos restaurantes e regras de armazenamento e transporte para manutenção da integridade de alimentos e outras mercadorias.

## 1.3 Motivação

O presente trabalho possui como objeto de estudo o armazém da Warehouse&CO, localizado na cidade de Osasco (SP). Por intermédio de entrevistas com funcionários estratégicos e operacionais e de visitação guiada no centro de distribuição, foram identificados

os processos chave da operação dedicada à rede Fast&Food, tal como a estrutura física, os equipamentos, a mão de obra e a rotina de trabalho empregada.

A compreensão da operação atual possibilitou o levantamento de obstáculos nos processos de armazenamento no centro de distribuição (CD) e de entregas nos restaurantes, decorrentes das adversidades dos requisitos dos serviços, como a obrigatoriedade de entregas em restaurantes em horas fixas e pré-determinadas e a necessidade de inspeção e resfriamento das mercadorias em temperaturas específicas; das adversidades externas, como a restrição de circulação de veículos de carga em determinados horários nas vias; e das limitações da estrutura (docas e espaço de estacionamento de caminhões), de equipamentos (empilhadeiras) e mão de obra disponível no CD.

Como consequência das condições mencionadas, os funcionários citaram a formação de fila para estacionamento nas docas de carregamento e descarregamento, a ausência de equipamentos de movimentação e desperdícios com energia dos veículos para manter a refrigeração dos caminhões em espera. Além disso, como resultado, foi apontado o atraso de entregas das mercadorias aos restaurantes.

O cenário atual do armazém atesta a necessidade de um estudo mais aprofundado dos processos de carregamento e descarregamento de caminhões no armazém, a fim de avaliar a eficiência dos processos vigentes. Para tal, é essencial a utilização de métodos mais modernos, que considerem aspectos quantitativos e qualitativos do CD.

#### **1.4 Objetivos do trabalho**

Frente às dificuldades apontadas no decorrer da visita e à importância da eficiência logística para o desempenho e sucesso das empresas envolvidas, este trabalho tem como objetivo mapear o processo de carregamento e descarregamento dos veículos no centro de distribuição, buscando identificar oportunidades de melhoria (gargalos) nestes processos.

Para tal, o estudo contará com o desenvolvimento de um modelo de simulação para avaliar possíveis alternativas na operação do CD. Estas alternativas vão desde a mudança na alocação de mão de obra e de equipamentos de movimentação até mudanças nas proporções de paletes nos caminhões (congelados, resfriados e secos). Todas as alternativas investigadas serão julgadas em relação aos incrementos de produtividade e às suas respectivas restrições.

## 1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em sete capítulos: 1. Introdução, 2. Revisão da literatura, 3. Metodologia, 4. Concepção do modelo de simulação, 5. Implementação do modelo de simulação, 6. Análise dos resultados e 7. Conclusões. O primeiro capítulo introduz a organização que inspirou o desenvolvimento do Trabalho de Formatura e faz uma abordagem inicial das questões a serem exploradas, discutindo sua relevância e os objetivos esperados ao fim do estudo.

O capítulo 2, Revisão da literatura, propõe-se a apresentar os fundamentos teóricos que norteiam o estudo. A seção parte de conceitos e definições introdutórias, a respeito de definições e conceitos de cadeias de suprimento e logística, a discussão sobre modelagem e simulação, concluindo com a apresentação do software empregado na simulação do centro de distribuição, AnyLogic.

No capítulo 3, é exposta a metodologia utilizada no estudo. Este capítulo está dividido em dois subtópicos, 3.1. Etapas de um projeto de simulação e 3.2. Visita ao centro de distribuição. Este último destaca as características da estrutura do armazém e de sua operação, ao passo que o primeiro explicita os estágios do desenvolvido do projeto. Tais estágios são desenrolados nos capítulos seguintes, 4. Concepção do modelo de simulação e 5. Implementação do modelo de simulação.

O capítulo 4 propõe-se a trazer detalhes de informações qualitativas e dados quantitativos para a construção do modelo conceitual que norteia o modelo de simulação. Além disso, preocupa-se em estabelecer premissas para o desenvolvimento da simulação.

No capítulo 5, Implementação de modelo de simulação, o modelo computacional é implementado no software AnyLogic e, a seguir, validado. Dessa forma, o modelo é adaptado para explorar diferentes cenários com o objetivo de avaliar possíveis melhorias e incrementos na operação do armazém. Por fim, nos capítulos 6. Análise dos resultados e 7. Conclusões, os resultados das simulações aplicadas são investigados para se obter recomendações de otimização da operação do centro de distribuição.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Cadeia de suprimentos

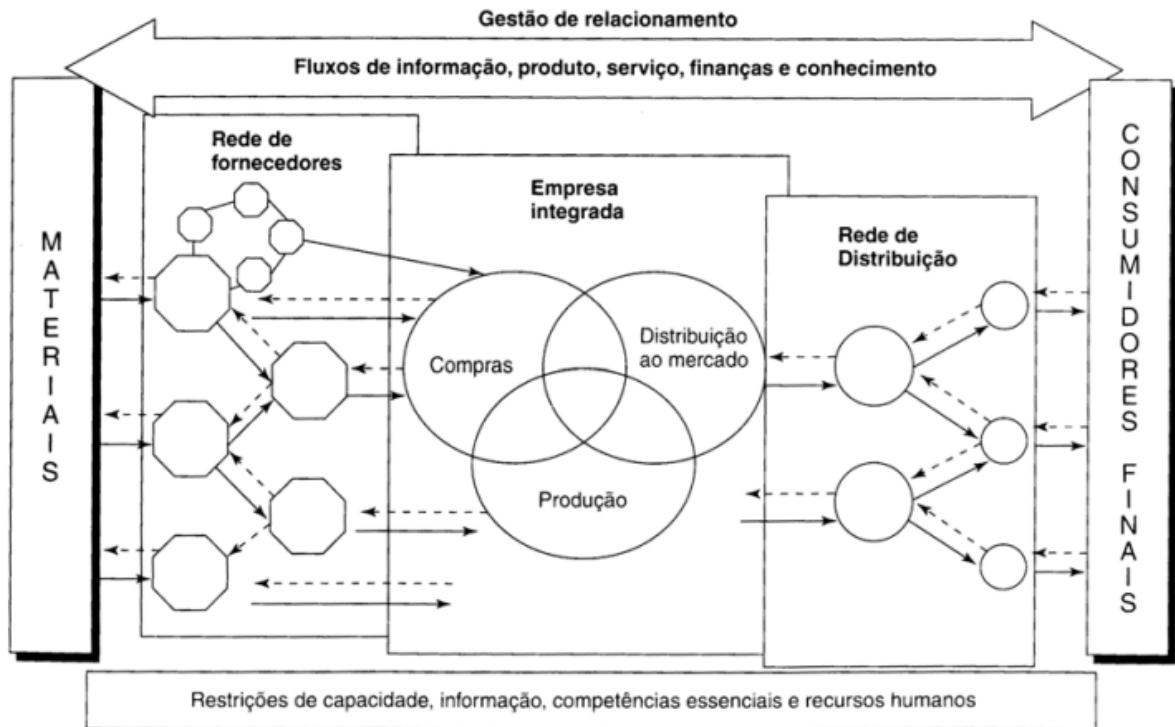
Cadeia de suprimentos, ou *Supply Chain*, é caracterizada a partir do conceito de integração entre fornecedores, produtores, distribuidores, clientes e provedores externos de meios logísticos, que compartilham informações e planos necessários para tornar o canal mais eficiente e competitivo. É o gerenciamento da cadeia produtiva desde o fornecimento da matéria-prima até a rede de distribuição dos produtos (MARTINS; LAUGENI, 2005).

De acordo com o *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP), a cadeia de suprimentos é definida como:

- 1) Iniciando-se pela matéria-prima não processada e se encerrando com o consumidor final utilizando os produtos acabados, a cadeia de suprimentos conecta diversas organizações.
- 2) o material e o intercâmbio informacional no processo logístico, estendendo-se desde a aquisição de matéria-prima até a entrega de produtos acabados ao consumidor final. Todos os fornecedores, provedores de serviço e consumidores são conectados na cadeia de suprimentos.

A visão tradicional de fornecimento compreendia a cadeia de suprimentos a partir da consolidação de relações binárias, em que a organização se dedicava a zelar pelas suas relações imediatas com fornecedores e consumidores. Tal visão era pautada pela alocação de recursos produtivos com o objetivo da redução de custos de produção, sem considerar o contexto global da cadeia. Como consequência, ocorre o efeito chicote, conceito que denomina a propagação distorcida da demanda através dos elos na cadeia de suprimento, gerando excesso de estoques ou ruptura. (MARTINS; LAUGENI, 2005).

Figura 1 - Modelo geral da cadeia de suprimentos



Fonte: Adaptado do Departamento de Cadeia de Suprimentos de Michigan State University, Barros (2007).

A visão contemporânea de cadeia de suprimentos é ilustrada pela Figura 1. A integração entre agentes da cadeia é suportada pelo fluxo de informações, produtos, serviços, finanças e conhecimento (BOWERSOX, 2002). O sucesso da cadeia de suprimentos integrada assegura a redução de custos de fornecimento, redução do tempo total, aumento de margens dos produtos, aumento da produção e retorno de investimento mais expressivo (MARTINS; LAUGENI, 2005).

Logística, por sua vez, é definida como o trabalho requerido para mover e posicionar estoques através da cadeia de suprimentos. Caracteriza-se como subconjunto da *supply chain* e cria valor ao sincronizar a cadeia como processo contínuo (BOWERSOX, 2002). A orquestração da cadeia de suprimentos é fundamental para todos os elos, desde fornecedores, que necessitam atender a demanda de outros produtores dentro do tempo estipulado, ao consumidor final, que deseja a integridade e conformidade de seu pedido.

O CSCMP define o conceito de logística como:

O processo de planejamento, implementação e procedimentos de controle para o transporte e armazenamento eficientes e eficazes de matéria-prima, material em processo e produto acabado, bem como o fluxo de informação do ponto de origem ao ponto de consumo com o propósito de satisfazer os requisitos dos clientes.

Logística engloba o gerenciamento de processamento de pedidos, por meio do fluxo eficiente de informação e compreensão e previsão das demandas e exigências dos clientes; gerenciamento de inventário, por meio da gestão do estoque e do nível de serviço; gerenciamento de transporte, com objetivo de mover fisicamente o inventário e garantir custo reduzido, velocidade e consistência; e gerenciamento de atividades de armazenamento, manuseio e movimentação de material e embalagem (BOWERSOX, 2002).

## 2.2 Armazéns

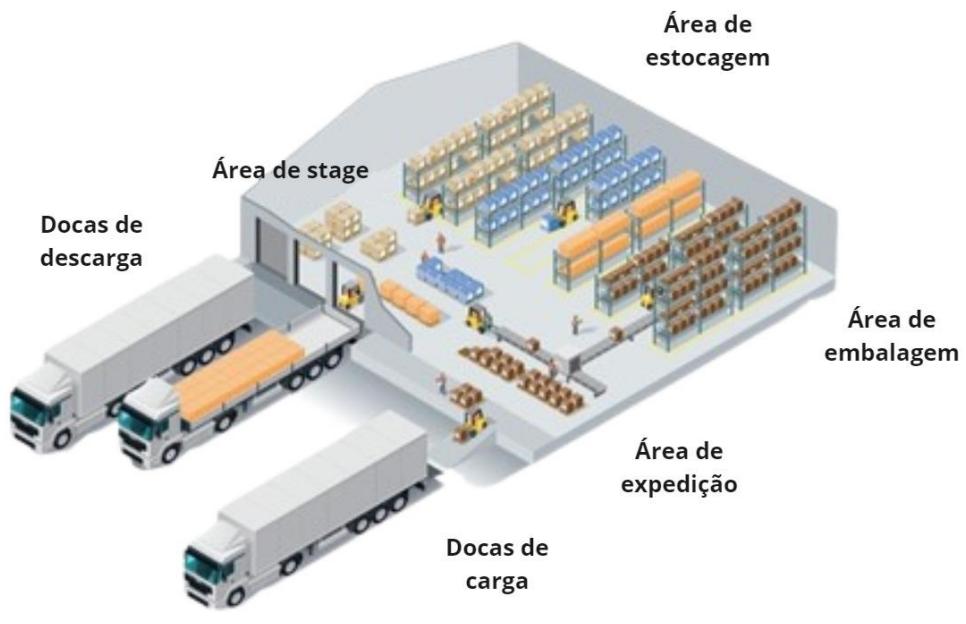
Armazéns são instalações de armazenamento, movimentação, transferência, fracionamento, inspeção, manuseio e consolidação de mercadorias (BARTHOLDI; HACKMAN, 2019). São pontos estratégicos da cadeia de suprimentos por proporcionarem segurança frente às oscilações de demanda, sazonalidades e irregularidades na infraestrutura de transportes, por garantirem o uso de lotes econômicos e por permitirem a especulação do preço de produtos a partir do controle de seus estoques e oferta no mercado. Além disso, os armazéns têm papel fundamental na redução de custos de transporte e na experiência do cliente devido ao processo de consolidação de produto, que concentra mercadorias e distribui os custos fixos inerentes ao transporte (EMMET, 2005).

Os armazéns são categorizados de acordo com os consumidores e mercadorias que atendem, podendo ser classificados como centro de distribuição de varejo, centro de distribuição de *e-commerce*, centro de distribuição de partes de serviço (armazenam peças de automóveis, aviões, computadores e equipamentos de saúde), armazéns *Third-Party Logistics* (3PL, armazéns terceirizados dedicados ao recebimento de mercadorias de vários fornecedores distintos) e armazéns de perecíveis (BARTHOLDI; HACKMAN, 2019).

Como ilustra a Figura 2, os armazéns compartilham de estruturas básicas em comum: docas de carga e descarga e áreas de *stage*, estocagem, embalagem e expedição. As docas de carga e descarga são pontos de estacionamento de veículos de carga para embarque e desembarque de matéria-prima e produtos, projetados de acordo com as características do veículo e do volume

e tipo da carga transportada. A área de *stage*, por sua vez, é um espaço de parada temporária de carga para sua inspeção de qualidade, conferência, classificação e transformação das unidades de carga durante o processo de recebimento. Após determinação do espaço de armazenamento, a carga é transportada à área de estocagem e aguarda um período, em estruturas específicas de armazenamento, até o momento de sua separação para posterior conferência e empacotamento do pedido na área de embalagem. Por fim, os pedidos são acumulados na área de expedição, onde aguardam seu carregamento nos veículos nas docas de carga (SUNOL, 2022).

Figura 2 - Configuração básica de um armazém



Fonte: Adaptado de Sunol (2022).

A configuração dos armazéns é variada e adapta-se de acordo com as dimensões, geometria e peso das unidades de carga; giro dos itens, que se relaciona diretamente com as demandas de fluxo de entrada e saída dos armazéns; espaço de armazenamento disponível; equipamentos de movimentação empregados; condições específicas dos produtos, como temperatura, ventilação e umidade; capacidade de armazenamento desejada e o fluxo e acessibilidade da mão de obra aos espaços e unidades de carga (BARTHOLDI; HACKMAN, 2019).

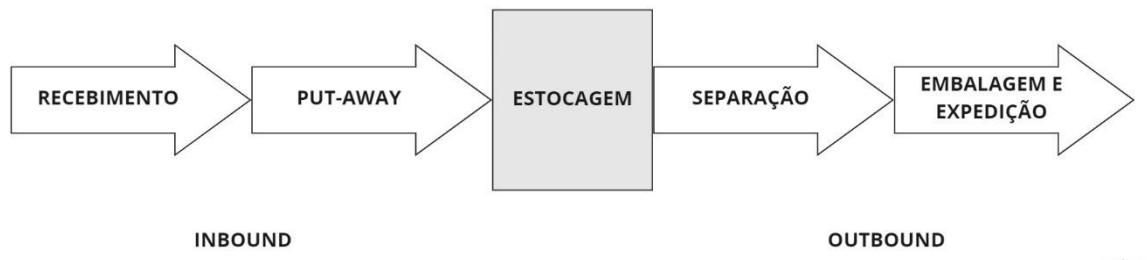
### 2.2.1 Processos básicos de um armazém

Segundo Bartholdi e Hackman (2019), os diversos tipos de armazém compartilham o mesmo padrão de fluxo de materiais, classificados esquematicamente em 5 processos básicos: 1. Recebimento, 2. *Put-away*, 3. Estocagem, 4. Separação (*picking*) e 5. Embalagem e expedição. Idealmente, os processos seguem o caminho mostrado na Figura 3 de modo contínuo.

Os processos básicos são divididos em 2 grupos: *inbound* e *outbound*. O primeiro diz respeito à movimentação de matéria-prima, produtos acabado e suprimentos do fornecedor ao armazém de uma organização, contemplando etapas como recebimento de veículos de carga, inspeção de mercadorias e movimentação até local de armazenamento. *Outbound*, por sua vez, é conjunto de processos para endereçamento de matéria-prima e produtos acabados do armazém ao cliente e engloba a processo de separação de produtos e envio.

No esquema simplificado (Figura 3), os processos básicos de recebimento, *put-away* e estocagem são consideradas etapas de *inbound*, ao passo que separação e embalagem e expedição compõem as etapas de *outbound*.

Figura 3 - Esquema dos processos básicos nos armazéns



Fonte: Bartholdi e Hackman (2019)

#### 2.2.1.1 Recebimento

O recebimento abrange a chegada e descarregamento de veículos com matéria-prima ou produtos acabados, o registro e inspeção da mercadoria e, caso necessário, sua movimentação a um espaço de espera (área de *stage*) até o momento de armazenamento, descrito no item 2.2.1.3.

O veículo estaciona na doca de descarga e as unidades de carga podem ser manuseadas e transportadas por funcionários e equipamentos de movimentação. A mercadoria pode chegar em grandes unidades, como paletes, e com *Stock Keeping Units* (SKUs) misturadas, o que torna necessário o emprego de mão de obra para desmembramento e organização desses produtos. O custo da etapa de recebimento corresponde a 10% do custo operacional de um armazém (BARTHOLDI; HACKMAN, 2019).

#### 2.2.1.2 *Put-away*

*Put-away* corresponde às etapas de determinação do local de armazenamento dentro das instalações do armazém, movimentação até espaço e registro no sistema da mercadoria e local onde houve seu armazenamento. O local é definido por fatores como tamanho, peso e categoria do produto e frequência de saída (BARTHOLDI; HACKMAN, 2019).

Uma vez definido o local de armazenagem da unidade de carga, esta é transferida à área de estocagem. O local de armazenagem é uma etapa relevante, pois determina o esforço de acesso ao produto, de modo que muitas organizações fazem uso de sistemas de Sistemas de Gerenciamento de Armazém (*Warehouse Management System – WMS*) para auxílio de tomada de decisão.

O processo de *put-away* demanda uso significativo de mão de obra e de equipamentos de movimentação para percorrer os espaços do armazém, de modo que corresponde a 15% do custo operacional (BARTHOLDI; HACKMAN, 2019).

#### 2.2.1.3 Estocagem

Estocagem corresponde ao período de armazenamento das unidades de carga em estruturas específicas no armazém, determinadas pela configuração e características das cargas estocadas (BOWERSOX, 2002). Entre as estruturas mais comumente empregadas estão: *rack* porta paletes (Figura 4), *push back* (Figura 5), *flow rack*, carrossel, estante e *drive-in*.

O volume, o peso e os requisitos de armazenagem dos produtos estocados são os principais aspectos a serem considerados durante a armazenagem. Produtos com alta rotatividade são posicionados de modo a diminuir as distâncias e tempos de movimentação. Portanto, são comumente alocados próximos às entradas, vias principais de movimentação e

níveis mais baixos de estocagem. Produtos pesados também são preferencialmente alocados em andares de estoque inferiores, com o intuito de minimizar seu carregamento (BOWERSOX, 2002).

A etapa de estocagem não possui valor agregado (BARTHOLDI; HACKMAN, 2019).

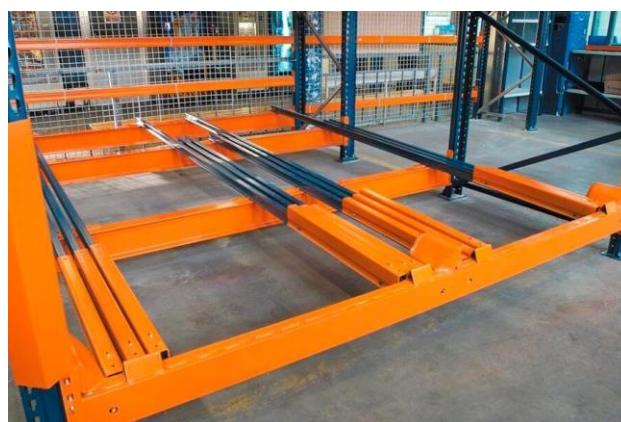
Figura 4 – Estruturas porta paletes



Fonte: Isma (2022)

A estocagem em estruturas porta paletes permite que o armazenamento de produtos de modo independente em suportes de níveis variados. Ao contrário da estocagem direta no chão de galpões, as estruturas possibilitam o acesso direto ao nível do palete, facilitando a movimentação do inventário (BARTHOLDI; HACKMAN, 2019). A Figura 4 mostra um rack de profundidade dupla, em que se obtém acesso imediato ao palete pela via de movimentação.

Figura 5 - Estruturas *push back*



Fonte: Comercial Souzalog (2022)

A Figura 5 apresenta uma estrutura porta palete do tipo *push back*, que tem capacidade de comportar entre 3 e 5 paletes por nível. Os andares da estrutura são compostos por trilhos para deslizamento dos paletes, como uma gaveta. Para ter acesso ao inventário de maior profundidade, é necessário o deslocamento dos paletes a sua frente com equipamentos de movimentação.

#### 2.2.1.4 Separação

Separação, ou *picking*, envolve etapas de geração de *picking list* de produtos, de verificação de disponibilidade de estoque, de coleta de mercadorias e de elaboração de documentação. Esse processo conta o auxílio de sistemas operacionais, denominados *Warehouse Management Systems* (WSM), para coordenar as atividades. A separação é o processo mais dispendioso de um armazém e representa 55% dos custos totais (BARTHOLDI; HACKMAN, 2019).

A Tabela 3 apresenta as principais atividades do processo de *picking* e suas respectivas participações em termos de tempo. O deslocamento até os locais de armazenamento é o passo que demanda mais tempo durante a separação. O WSM desempenha um papel fundamental na eficiência do armazém, pois é responsável pela definição dos produtos a serem separados e pela ordenação de *picking*, de forma a otimizar o tempo de deslocamento e coleta dos produtos por parte do operador.

Tabela 3 - Participação dos tempos das atividades de separação

Atividade	% Tempo de separação
Deslocamento	55%
Procura	15%
Extração	10%
Documentação e outras atividades	20%

Fonte: BARTHOLDI e HACKMAN (2019)

#### 2.2.1.5 Embalagem e expedição

O processo de embalagem e expedição abrange as etapas de conferência e escaneamento de pedidos, empacotamento em embalagens, consolidação dos pacotes em unidades maiores para expedição (ex.: caixas e paletes), rastreamento dos pacotes e envio às transportadoras. É possível haver também a consolidação de produtos de diferentes pedidos provenientes de um

único cliente, de modo a concentrá-los em uma mesma embalagem e reduzir os custos de manuseio e frete de unidades de envio. Este tipo de consolidação exige a etapa de *stage* para concentração das mercadorias antes da embalagem.

Embalagem e expedição correspondem a 20% do custo operacional de um armazém. As etapas de conferência e embalagem de pedidos, em especial, demandam esforço significativo, pois há manuseio individual das peças de cada pedido. A acuracidade dos pedidos, isto é, se a encomenda foi atendida em sua totalidade e de forma exata aos produtos solicitados, está diretamente ligada à satisfação do cliente e é uma medida do nível de serviço de uma entrega (BARTHOLDI; HACKMAN, 2019).

## 2.3 Modelagem e simulação

Jerry Banks (2004) caracteriza a simulação como uma imitação da operação de um processo do mundo real ou de um sistema ao longo do tempo. Consiste na geração de uma evolução artificial de um dado sistema para se observar, fazer inferências a respeito das características de um sistema real e analisar potenciais mudanças e seu impacto em sua performance.

De acordo com Jay Forrester (1968, apud CHWIF; MEDINA, 2015), um sistema é um agrupamento de partes que operam juntas, visando um objetivo em comum. Um sistema pode ser definido como um grupo de elementos que possuem interação, interrelação, ou interdependência e de forma complexa e unificada, apresentando uma proposição clara e específica.

Modelo, por sua vez, é uma abstração da realidade, que se aproxima ao comportamento real de um sistema. Trata-se de uma representação simplificada das interações existentes em um dado sistema e deve capturar o que de fato é importante no contexto do sistema e no objetivo almejado no estudo. Há três categorias básicas de modelos: simbólicos, matemáticos e de simulação (CHWIF; MEDINA, 2015).

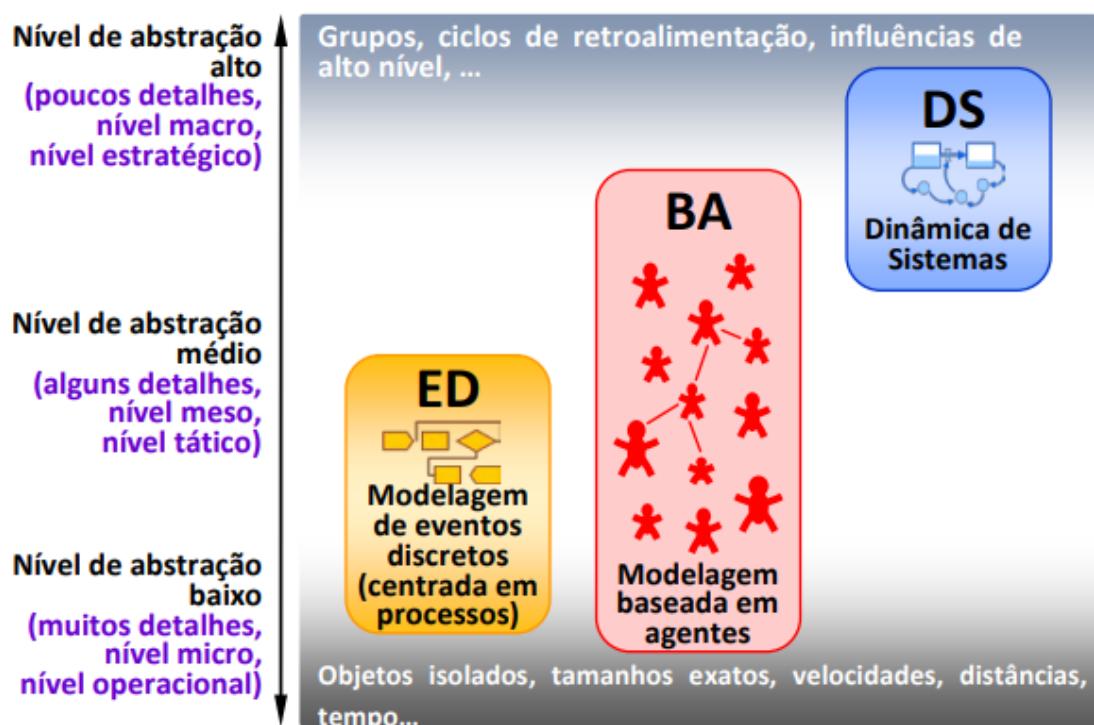
Modelos simbólicos, também conhecidos como icônicos ou diagramáticos, são representações que empregam símbolos gráficos para retratar um sistema de modo estático, sem considerar o efeito do tempo. Esse tipo de modelo é uma ferramenta de documentação e comunicação, no entanto é limitado por não apresentar o comportamento do sistema ao longo

do tempo e pela falta de elementos fundamentais, como dados quantitativos (CHWIF; MEDINA, 2015).

Modelos matemáticos ou analíticos são um conjunto de fórmulas matemáticas, como modelos de programação linear ou modelos analíticos da Teoria das Filas. Tais modelos costumam ser caracterizados como uma solução rápida e exata ao estudo de um sistema, entretanto são limitados na medida em que utilizam hipóteses simplificadoras e não apresentam soluções analíticas para sistemas complexos (CHWIF; MEDINA, 2015).

Por fim, os modelos de simulação são alternativas para representação de sistemas de natureza dinâmica e aleatória. Este tipo de modelo é capaz de retratar sistemas de maior complexidade, uma vez que de mapeiam a trajetória de estados de um sistema que se altera ao longo do tempo e cujas variáveis são aleatórias. Modelo de simulação é comumente empregado como ferramenta de análise de cenários, alterando-se aspectos quantitativos ou qualitativos para se avaliar investimentos, mudanças em processos ou contextos adversos em um dado sistema. Segundo Borshchev (2015), há três métodos de modelos de simulação, que divergem pelo nível de abstração: Sistemas Dinâmicos, Modelagem de eventos discretos e Modelagem baseada em agentes.

Figura 6 - Métodos de modelagem de simulação



Fonte: Grigoryev (2015)

### 2.3.1 Sistemas dinâmicos

Sistemas dinâmicos é um método desenvolvido por Jay Forrester, baseado em uma visão endógena do sistema. Procura-se estudar o sistema como uma estrutura fechada formada por loops de causalidade circular, atentando-se para seus fluxos e estoques. Os *loops* representam a relação estabelecida entre variáveis, isto é, de que modo uma variável alimenta, positiva ou negativamente, o estado de outra variável. Estoques são acumulações originadas pelos *loops* e caracterizam o estado do sistema. Fluxos, por sua vez, indicam o ritmo da mudança de estado (BORSHCHEV, 2015).

É considerada um modelo de simulação de alto nível de abstração, por avaliar um sistema de forma macro e sem o detalhamento dos objetos representados. Desse modo, é uma metodologia simples em comparação aos modelos de simulação, no entanto encontra aplicação a nível estratégico (BORSHCHEV, 2015).

### 2.3.2 Modelagem baseada em agentes

Modelagem baseada em agentes (ABS) é um método em que o comportamento global do sistema é derivado da dinâmica do conjunto de agentes (GRIGORYEV, 2015). As características dos objetos do sistema são o foco da modelagem baseada em agentes, uma vez que a sua dinâmica interna de mudança de estado, a relação entre agentes e a interação entre agente e ambiente determinam as variáveis e parâmetros desse tipo de modelagem.

Os agentes podem assumir a representação de elementos variados, como pessoas, veículos, organizações e ideias. A modelagem baseada em agentes permite a simulação de objetos estáticos e dinâmicos, isolados ou em interação entre si.

Ainda de acordo com Grigoryev (2015), a modelagem baseada em agentes requer nível de abstração médio, pois não exige detalhamento de um fluxo de processo ou a identificação das variáveis e dependências de um sistema.

### 2.3.3 Modelagem de eventos discretos

Modelagem de eventos discretos foi concebida nos anos de 1960 e é de autoria do engenheiro da IBM Geoffrey Gordon. Este método exige pensar sobre o sistema como um processo, isto é, uma sequência de operações que os agentes realizam ao longo do tempo. Como

forma de representação, empregam-se fluxogramas dos processos com blocos ilustrando as operações do sistema (BORSHCHEV, 2015).

Os agentes podem assumir a posição de indivíduos, paletes, documentos, veículos, tarefas, entre outros. Usualmente, os agentes seguem os blocos do fluxograma do sistema de modo a disputar recursos limitados do ambiente e sofrer serviços, atrasos e separações. Dessa forma, podem originar filas e acumulações ao longo do sistema.

Cada evento ocorre em um tempo estocástico ou determinístico e marca a mudança de estado dos atributos de um agente. O objetivo é simular as atividades das entidades que compõem o sistema, almejando conhecer seu comportamento e desempenho (BRESSAN, 2002). Conforme mostra a Figura 7, um processo básico é marcado pelos eventos de chegada da entidade, de entrada em serviço e de fim de serviço. A atividade corresponde ao intervalo entre os eventos de entrada em serviço e de fim de serviço, que pode provocar mudanças nos valores de atributos das entidades e no estado do sistema.

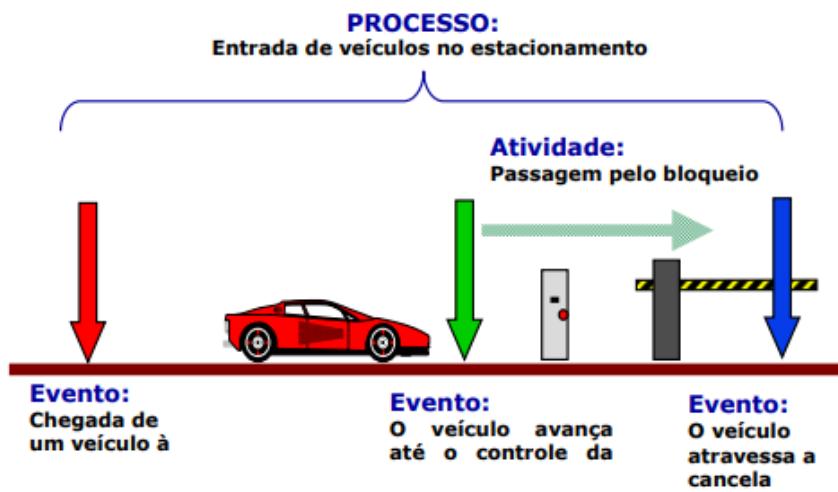
Figura 7 - Esquema básico de um modelo de evento discreto



Fonte: Bressan (2002)

Um exemplo trazido por Bressan (2002) é o processo de entrada de veículos em um estacionamento de um *shopping center* (Figura 8). Os veículos devem passar pela única cancela (bloqueio) do estacionamento para acessarem o *shopping*. Para tal, os motoristas devem sair do ponto de origem, avançar até a cancela de entrada do estacionamento, apertar o botão e retirar o *ticket* de entrada para seguirem adiante no estacionamento e terem acesso ao *shopping center*.

Figura 8 - Exemplo de um modelo de evento discreto do processo de entrada de carros em um estacionamento



Fonte: Bressan (2002)

Como demonstra a Figura 9, a frequência de chegada de carros e os tempos que as atividades que antecedem a entrada no estacionamento (avanço até o bloqueio, pressionamento do botão, retirada do *ticket* e avanço após cancela) originam uma fila de veículos antes da cancela. No exemplo, a estação de serviço (cancela) tem capacidade de atendimento de apenas 1 veículo, de forma que os demais carros devem aguardar a liberação do servidor para seguir o fluxo.

Figura 9 - Formação de fila de entidades (carros) para entrada na estação de serviço (cancela de entrada)



Fonte: Bressan (2002)

Os modelos de eventos discretos costumam utilizar muitas informações a respeito do sistema, logo são classificados como modelos de nível baixo de abstração. O detalhamento do

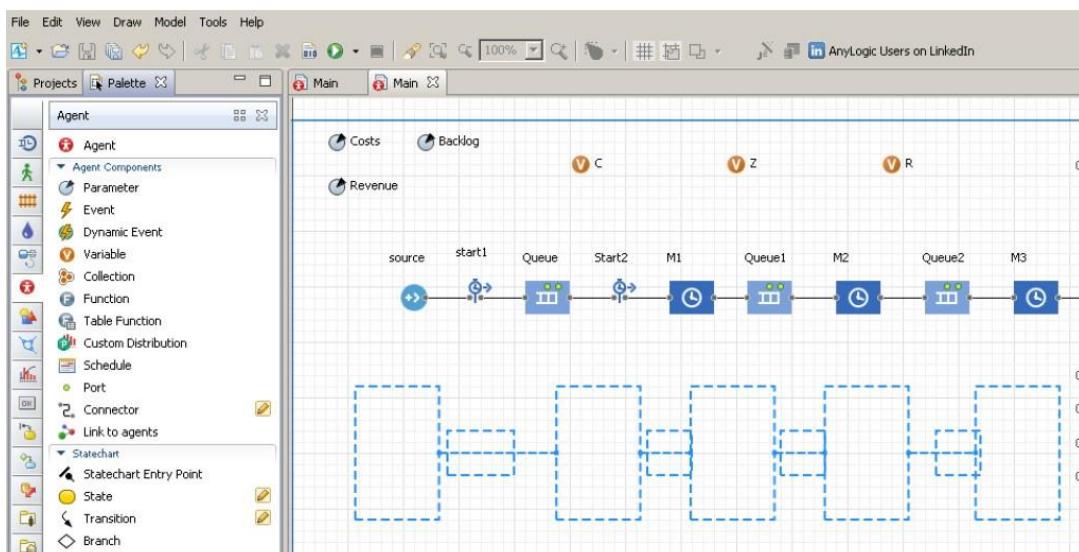
sistema permite a identificação e obtenção de dados como a utilização de recursos, tempo gasto no sistema, tempo de espera, filas, desempenho do sistema e gargalos (BORSHCHEV, 2015).

## 2.4 Software de simulação

O software empregado na construção da simulação desenvolvida ao longo deste estudo foi o AnyLogic. Este é uma ferramenta de modelagem de simulação multi-método, desenvolvida em 2000 pela The AnyLogic Company. Ela é líder no mercado de softwares de modelagem de simulação, sendo utilizada como ferramenta em mais de 40% das empresas listadas na Fortune 100 (THE ANYLOGIC COMPANY, 2022).

AnyLogic é a única ferramenta disponível no mercado que suporta simulações baseadas em agentes, eventos discretos e sistemas dinâmicos em um mesmo software, oferecendo a opção de combinação entre as três abordagens de simulação para elaboração de modelos mais complexos. Além disso, é equipada com bibliotecas específicas para contextos variados de simulação, permite o refinamento dos modelos a partir do uso de código Java e disponibiliza ao usuário uma interface para construção de animações interativas 2D e 3D e de dashboards de performance da simulação. A multiplicidade de instrumentos internos torna o AnyLogic uma ferramenta atrativa para inúmeras indústrias, entre elas a manufatura, gerenciamento de cadeias de suprimento, mineração, óleo e gás, defesa, portos e terminais, entre outras (THE ANYLOGIC COMPANY, 2022).

Figura 10 - Exemplo de modelo de simulação no AnyLogic



Fonte: AnyLogic

O modelo de simulação desenvolvido ao longo deste trabalho utiliza o AnyLogic, logo segue o padrão de símbolos empregado pelo software. A Tabela 4 exibe os símbolos em questão e suas respectivas legendas e finalidades no contexto da modelagem.

Tabela 4 - Blocos da biblioteca do software AnyLogic utilizados nos modelos de simulação do projeto

Ilustração	Legenda	Função
	<i>Source</i>	Inicia modelo e gera entidades
	<i>Sink</i>	Finaliza modelo e/ou absorve entidades processadas
	<i>Delay</i>	Coloca entidades em espera por determinado tempo. Pode representar o tempo de processamento de uma etapa do processo
	<i>Resource Pool</i>	Define parâmetros de recursos utilizados durante o processo
	<i>Seize</i>	Aloca recursos do <i>Resource Pool</i> para agentes. Compreende fila interna para uso do recurso
	<i>Queue</i>	Gera fila de espera para entrada no próximo bloco do processo
	<i>Release</i>	Libera recursos do <i>Resource Pool</i> alocados anteriormente
	<i>SelectOutput</i>	Separa agentes em 2 rotas distintas do processo de acordo condição ou probabilidade
	<i>Split</i>	Cria novos agentes a cada entrada de entidade
	<i>Schedule</i>	Define intervalos de tempo ou cronograma para alteração de valores de um elemento ao longo do tempo

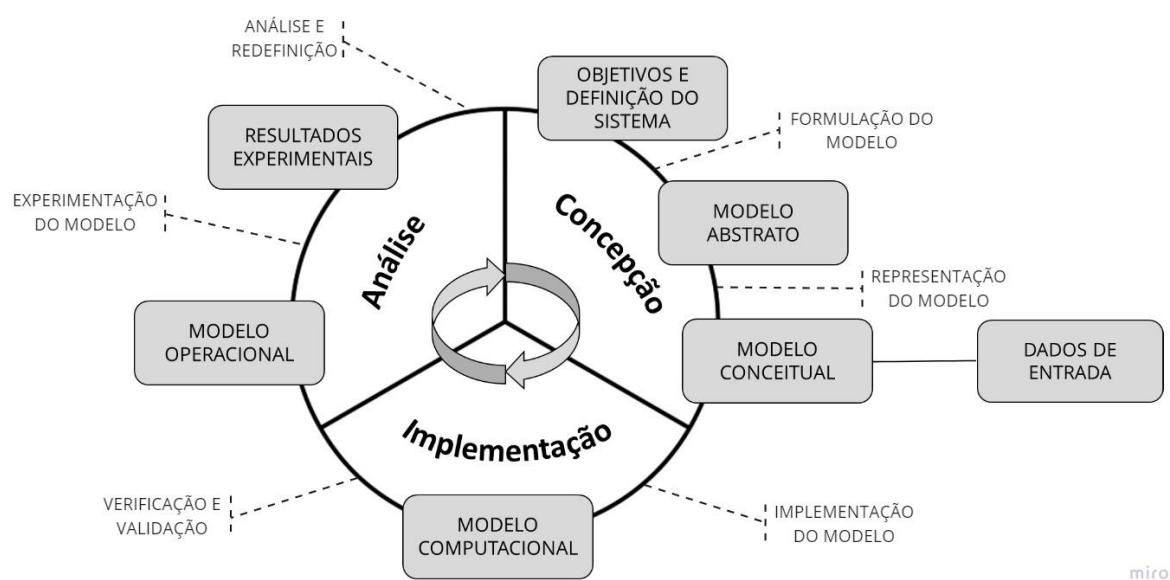
	<i>Agent</i>	Representa unidade que possui comportamento próprio, podendo apresentar variáveis, parâmetros e interação com demais agentes
	<i>Parameter</i>	Caracteriza um agente, descrevendo um parâmetro como velocidade, valor e área
	<i>TimeMeasureStart</i>	Inicia contagem de tempo quando entidade percorre bloco
	<i>TimeMeasureEnd</i>	Para contagem de tempo quando percorre bloco e registra intervalo de tempo entre <i>TimeMeasureStart</i> e <i>TimeMeasureEnd</i>

Fonte: Elaboração da autora

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Etapas de um projeto de simulação

Figura 11 - Metodologia de Simulação de Chwif e Medina



Fonte: Adaptado de Chwif e Medina (2015)

Segundo a Metodologia de Simulação de Chwif e Medina (2015), o desenvolvimento de um modelo de simulação é cíclico e dividido em três fases: concepção, implementação e análise. A fase de concepção é a etapa de levantamento dos objetivos da simulação e de exploração do sistema a ser simulado. Deve-se compreender o escopo, as hipóteses e o grau de detalhamento do sistema, elementos que norteiam a formulação inicial de um modelo abstrato na mente do especialista responsável. Tal modelo é adaptado à linguagem de representação de modelos de simulação, dando origem ao modelo conceitual do sistema em questão. O modelo conceitual tem como função representar o sistema de modo a torná-lo comprehensível aos envolvidos no projeto e é fundamental para determinar os dados de entrada que devem ser levantados para o modelo computacional.

Na segunda etapa, a fase de implementação, o modelo conceitual é convertido em um modelo computacional com o auxílio de um software de modelagem ou de alguma linguagem de simulação. O modelo computacional desenvolvido deve atender aos requisitos do modelo conceitual, logo é essencial a comparação destes dois modelos, a partir de verificações e validações, para que a simulação represente adequadamente a realidade do sistema.

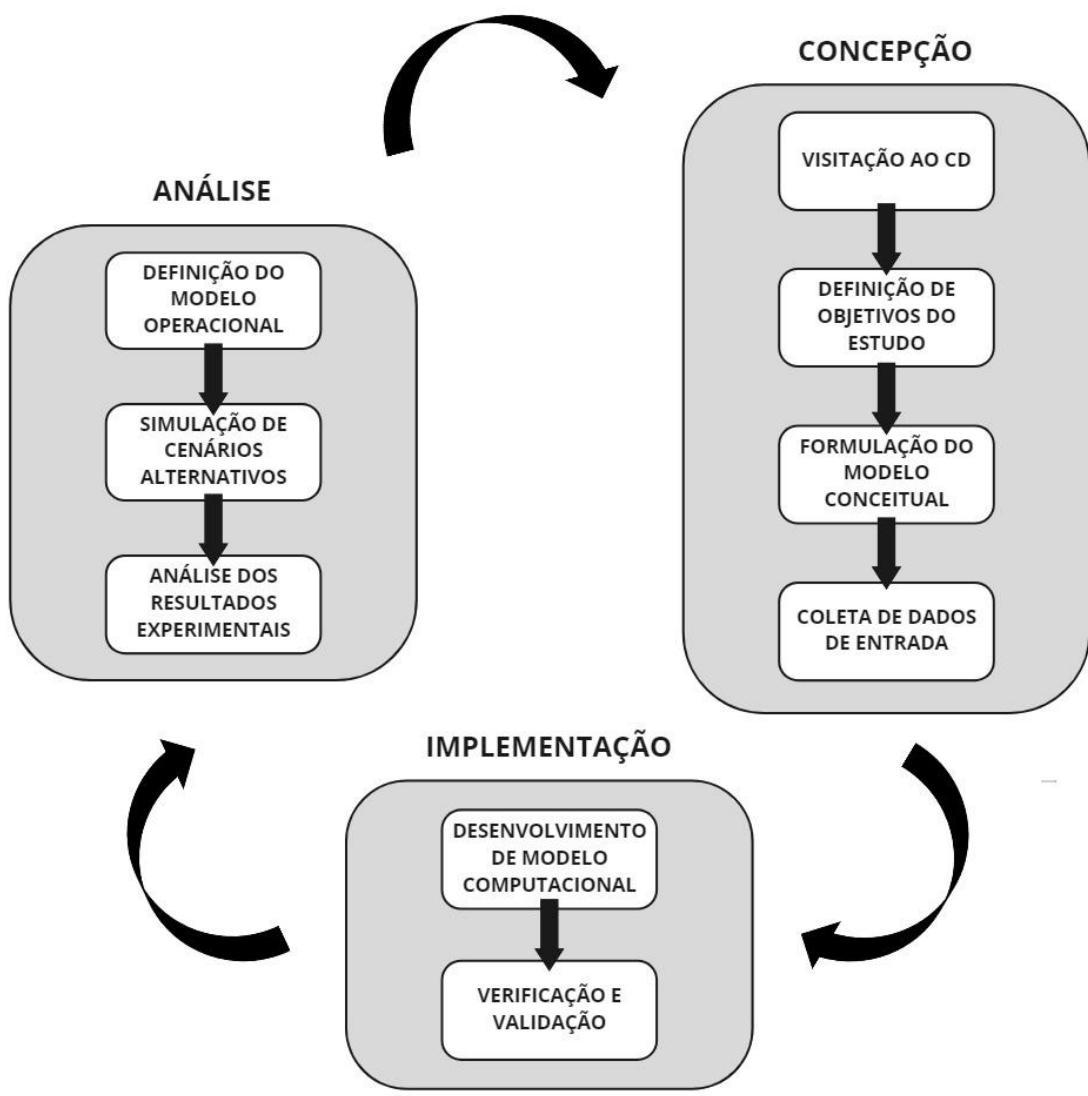
Por fim, após a validação do modelo computacional elaborado, obtém-se o modelo experimental que será utilizado na fase de análise. O modelo experimental é rodado numerosas vezes a fim de reproduzir diferentes cenários dentro do sistema, dando origem aos resultados da simulação. O produto do modelo experimental é analisado e documentado, de modo a se atingir conclusões e recomendações para o sistema estudado.

É possível também que os resultados da simulação não atinjam as expectativas iniciais e que o modelo conceitual precise ser revisado e reformulado. Dessa forma, o ciclo da Metodologia de Simulação é reiniciado e dá-se origem a uma nova iteração.

A simulação do sistema do armazém da Warehouse&Co foi baseada na metodologia de Chwif e Medina e seguiu os passos descritos no Figura 12. O trabalho inicia-se na concepção, com a visitação ao centro de distribuição e levantamento de questões na operação do armazém, dando origem escopo e objetivos do estudo. Desse modo, a partir das informações captadas a respeito da operação logística da Warehouse&Co e do escopo do estudo, parte-se para a formulação do modelo conceitual e a posterior obtenção de dados quantitativos e qualitativos exigidos para o modelo de simulação.

No segundo passo, a implementação, é desenvolvida a versão preliminar do modelo computacional, que deve ser testado e reformulado para assegurar que representa corretamente a realidade do sistema de operação do armazém. O passo de análise, por sua vez, inicia-se com a consolidação do modelo operacional e abrange a formulação de cenários alternativos experimentais e a obtenção de seus respectivos resultados. Ao final, os cenários simulados devem ser analisados e comparados, dando origem a recomendações de decisões ao sistema.

Figura 12 - Metodologia aplicada no estudo, baseada em Chwif e Medina



Fonte: Adaptado de Chwif e Medina (2015)

A fase de concepção está representada nos capítulos 1.3 Motivação e 1.4 Objetivos do trabalho, 3.2 Visita ao centro de distribuição e 4. Concepção do modelo de simulação. As fases de implementação e análise serão descritas, respectivamente, nos capítulos 5. Implementação do modelo de simulação e 6. Análise dos resultados.

### **3.2 Visita ao centro de distribuição**

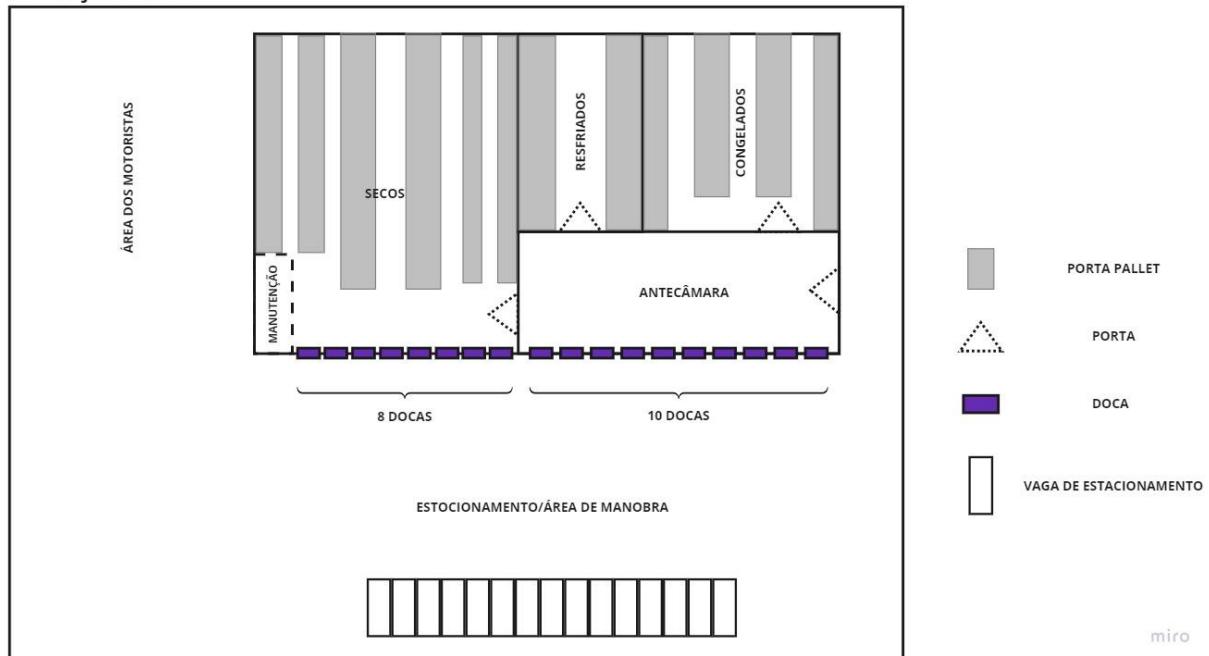
A coleta de informações para este trabalho foi baseada em visitação guiada ao armazém da Warehouse&Co e em entrevistas não estruturadas com o gerente de projetos, Lucas Maduenho, e funcionários da operação do armazém. A instalação visitada localiza-se na cidade de Osasco (SP) e contempla fábricas e armazéns de outras organizações que prestam serviços para a Fast&Food. No entanto, este trabalho é focado unicamente no estudo do centro de distribuição pertencente à Warehouse&Co, responsável pelo armazenamento, transporte e abastecimento dos suprimentos dos restaurantes da Fast&Food no Brasil.

Todos os funcionários e visitantes são instruídos a utilizar touca descartável de tecido não tecido (TNT) para cabeça, protetores de calçado descartáveis de TNT, protetores auriculares, bota de segurança e casaco térmico durante a permanência em qualquer área coberta do CD. Tal medida garante a segurança dos indivíduos e o cumprimento das regras sanitárias para armazenamento de alimentos.

A Figura 13 representa um esboço da instalação visitada. Ela é composta por 18 docas de carga e descarga, um estacionamento de veículos de carga com 10 vagas, uma área de vivência de motoristas e 4 áreas cobertas (antecâmara, área de congelados, área de resfriados e área de secos). A Figura 14 ilustra as áreas cobertas do CD de forma ampliada.

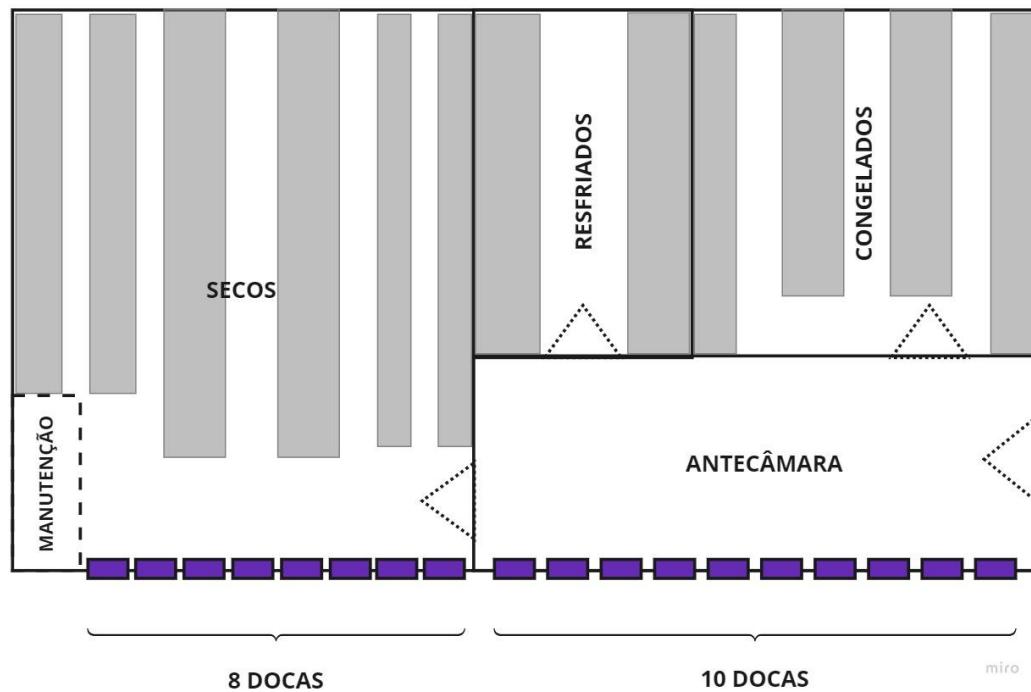
Figura 13 - Esboço da instalação do armazém da Warehouse&Co, fora de escala

### ESBOÇO DO CD



Fonte: Elaboração da autora

Figura 14 - Esboço das áreas cobertas do armazém, fora de escala



Fonte: Elaboração da autora

As áreas descobertas são de uso dos motoristas e seus caminhões. A área dos motoristas é um espaço reservado para descanso, alimentação e higiene desses profissionais. Já a área de estacionamento e manobra é dedicada ao trânsito de chegada e partida de caminhões, parada para carregamento e descarregamento de mercadorias nas docas, estacionamento ou espera (em caso de lotação das docas) de veículos de carga.

A antecâmara é reservada para o carregamento e descarregamento de caminhões que estacionam em 10 das 18 docas do CD. Dessa forma, é uma área de grande movimentação de funcionários, paletes e equipamentos de movimentação. A antecâmara não é um espaço de armazenamento e não apresenta controle de temperatura ambiente.

A Warehouse&Co dedica 3 áreas distintas ao armazenamento dos produtos, de acordo com a necessidade de faixa de temperatura requerida para sua preservação.

A área de congelados é destinada a produtos que necessitam de armazenamento em temperaturas mais baixas, entre -18°C e -23°C, que contabilizam por volta de 85 SKUs distintos. Entre os produtos congelados, podemos citar carne e batata frita. O estoque ocorre em porta paletes *push back*, separados por 3 ruas para movimentação de empilhadeiras. Devido às baixas temperaturas, o uso de um casaco térmico é obrigatório durante todo período de permanência na área.

A área de resfriados é destinada a produtos que necessitam de armazenamento em temperaturas de até 4°C, como queijos e frutas. A área estoca cerca de 50 SKUs distintos em porta paletes *push back* e possui uma única rua. Assim como na área de congelados, os trabalhadores e visitantes devem vestir o casaco térmico ao adentrarem o espaço.

A área de secos, por sua vez, é mantida em temperatura ambiente e armazena a maior parte dos produtos recebidos pelo armazém, somando cerca de 400 SKUs distintos. Pães para hambúrguer, guardanapos e embalagens são exemplos de produtos secos estocados na área, que possui 5 ruas e porta paletes *push back*. Corresponde à maior área do armazém e abrange espaço de manutenção para equipamentos internos. Junto à antecâmara, é um espaço de carregamento e descarregamento de caminhões e conta com 8 docas.

As Figuras 18, 19, 20 e 21, respectivamente, apresentam as áreas de produtos congelados, de produtos resfriados, de produtos secos, a área da antecâmara e a área de manutenção. A planta baixa (Figura 17) do armazém foi disponibilizada pela Warehouse&Co,

onde é possível visualizar os espaços em escala real. As áreas de congelados, de resfriados e de secos possuem regiões destinadas à concentração de paletes para expedição, destacadas em vermelho na Figura 15.

Figura 15 Regiões de expedição das áreas de armazenamento

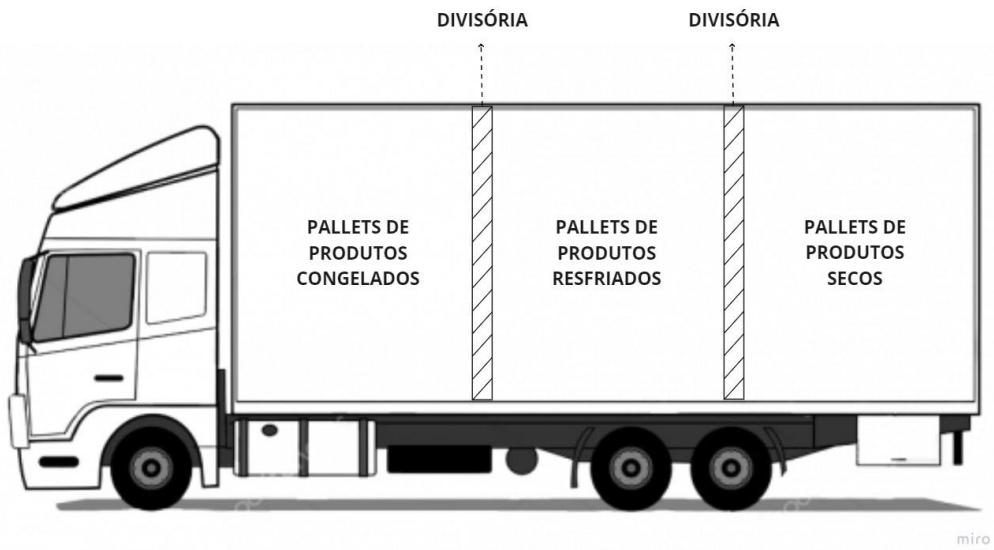


Fonte: Elaboração da autora

Os caminhões empregados no transporte da carga são veículos 3 temperaturas (3T), configurados para transportar produtos de diferentes faixas de armazenamento. A Figura 16 ilustra a organização de um caminhão 3T padrão utilizado no transporte dos produtos da Fast&Food. O veículo é tripartido por divisórias móveis termicamente isolantes, de modo que os paletes de produtos congelados fiquem mais próximos do ar-condicionado, ao fundo do baú, os paletes de produtos resfriados fiquem ao meio e os paletes de produtos secos fiquem na zona menos resfriada do baú. A partição de congelados apresenta temperatura entre -23°C e -18°C, ao passo em que a partição de resfriados deve registrar temperatura entre 1° e 4°C. A partição de secos apresenta temperatura mais elevada, próxima a temperatura ambiente.

A Fast&Food opta por transportar os produtos de forma padronizada em seus caminhões. Cada veículo movimenta 6 paletes de produtos congelados, 4 paletes de produtos resfriados e 6 paletes de produtos secos. As caixas que compõem os paletes são identificadas por etiquetas com código de barras, que registram o SKU, sua quantidade, sua origem e restaurante de destino.

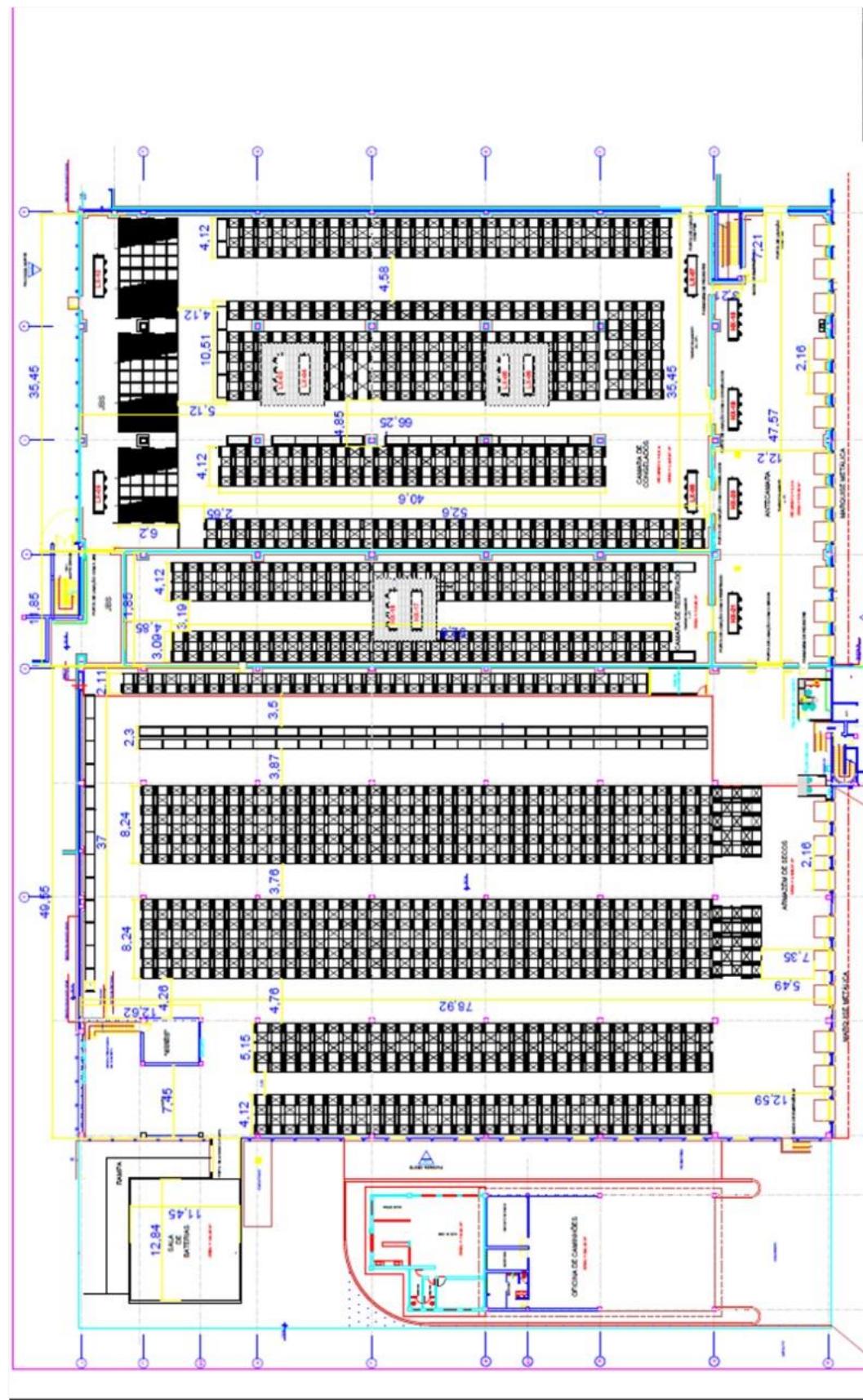
Figura 16 - Configuração de um caminhão padrão da Warehouse&Co



Fonte: Elaboração da autora

Os caminhões 3T realizam entregas de produtos secos, resfriados e congelados em uma só viagem para restaurantes da rede Fast&Food. A entrega possui horário pré-estipulado e os restaurantes organizam-se para receber a mercadoria em um determinado momento do dia. A organização do cronograma de entregas também é atribuída às restrições de circulação de veículos de carga em vias.

Figura 17 - Planta do armazém da Warehouse&Co



Fonte: Concedido pela Warehouse&Co

Figura 18 - Área de congelados



Fonte: Elaboração da autora

Figura 19 - Área de resfriados



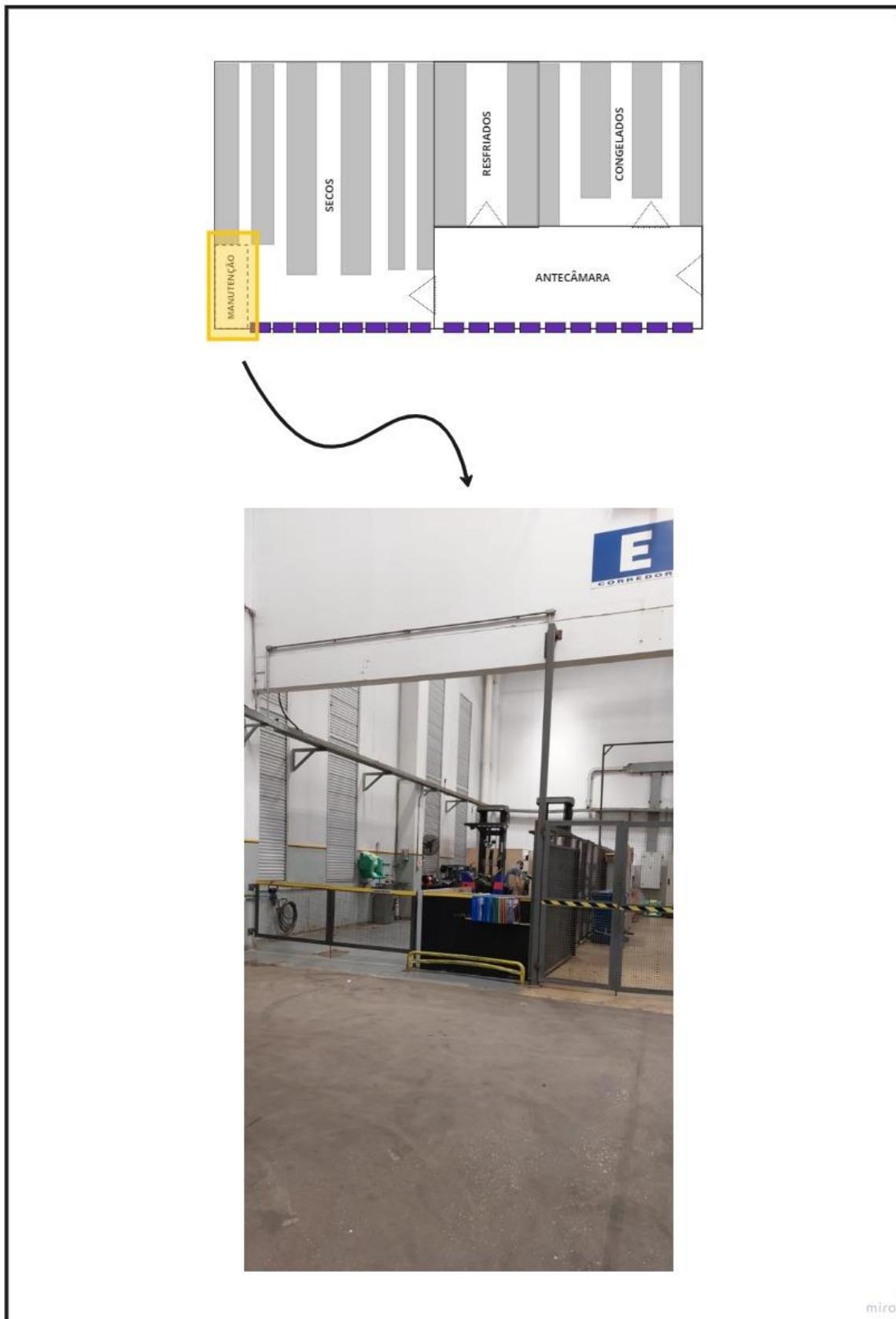
Fonte: Elaboração da autora

Figura 20 - Vista da área de secos (à esquerda) e região de *picking* da área de secos (à direita)



Fonte: Elaboração da autora

Figura 21 - Região de manutenção, localizada na área de secos



Fonte: elaborado pela autora

Em relação à estrutura de armazenamento, o centro de distribuição estoca os produtos majoritariamente em paletes. Cada palete comporta um número variável de caixas de papelão, de acordo com o peso e as dimensões, e tem seu controle mantido por meio do escaneamento dos códigos de barras das caixas e do local de armazenamento. Os porta paletes possuem etiquetas com código de barras (Figura 22) com o intuito de identificar a localização, nível e dimensão do espaço de armazenamento.

Figura 22 - Código de barras identificador presente nos porta paletes



Fonte: registrado pela autora

Para manuseio das mercadorias, os funcionários da operação utilizam empilhadeiras, para movimentação de paletes nos corredores, andares e níveis das estruturas de armazenamento, e transpaleteiras manuais, para movimentações menores.

#### **4. CONCEPÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO**

Conforme explicitado no Capítulo 1, este estudo propõe-se a construir um modelo de simulação do armazém da Warehouse&Co para identificar gargalos e avaliar possíveis alterações ou investimentos em sua operação e estrutura. Os problemas apontados anteriormente, como o atraso de entregas em restaurantes, a concentração de caminhões a espera de carregamento ou descarregamento de mercadoria e a falta de equipamentos de movimentação de carga, sustentam a necessidade de uma análise acerca da operação do CD. Desse modo, o estudo foca-se nos processos de carregamento e descarregamento de caminhões de mercadorias da Fast&Food, adotando como sistema o conjunto de elementos formado pelo espaço físico do armazém e sua estrutura de armazenamento, paletes de produtos, empilhadeiras e caminhões.

O armazém opera em 3 turnos de 8 horas de trabalho: 6h-14h (1º turno), 14h-22h (2º turno) e 22h-6h (3º turno). O primeiro e segundo turnos são dedicados ao recebimento e descarregamento de caminhões e separação de pedidos que serão despachados no dia. O terceiro turno dedica-se à finalização do *picking* e ao carregamento e despacho de caminhões. A divisão dos processos citados ao longo do dia é justificada pela restrição da circulação em vias de veículos de carga em horários específicos e pela fixação das entregas nas lanchonetes em horários pré-determinados.

Os processos de carregamento e descarregamento de caminhões segue uma rotina de atividades para assegurar a integridade dos produtos e seu devido armazenamento ou separação. O processo de carregamento de caminhões demanda o trabalho de um funcionário da operação (F1) e é iniciado com o estacionamento do veículo em uma das 18 docas disponíveis no armazém. Em seguida, carreta do veículo é limpa pelo F1 e o motorista ajusta a temperatura do ar-condicionado antes de receber as novas mercadorias. O F1 emite o checklist de caixas que serão transportadas no caminhão e inicia o transporte das mercadorias. O carregamento começa com os paletes congelados, que ficam ao fundo do caminhão. Dessa forma, o F1 faz o carregamento dos paletes congelados na empilhadeira e os movimenta até o caminhão, onde são armazenados. O funcionário posiciona a divisória isolante e destina-se ao carregamento dos produtos refrigerados. Ele carrega os paletes resfriados na empilhadeira e realiza a movimentação e disposição no caminhão. A segunda divisória térmica é posicionada e o F1 destina-se aos produtos secos. O trabalhador carrega os paletes secos na empilhadeira e vai em

A Tabela 5 resume as etapas de carregamento de caminhões, explicitando a presença de ação do funcionário da operação e o tempo demandado. É importante ressaltar que o processo de *picking* das caixas é anterior ao processo de carregamento e que os paletes aguardam em posições de *stage* em cada uma das 3 áreas de armazenamento. As etapas descritas originaram o modelo conceitual do processo de carregamento, ilustrado pela Figura 23.

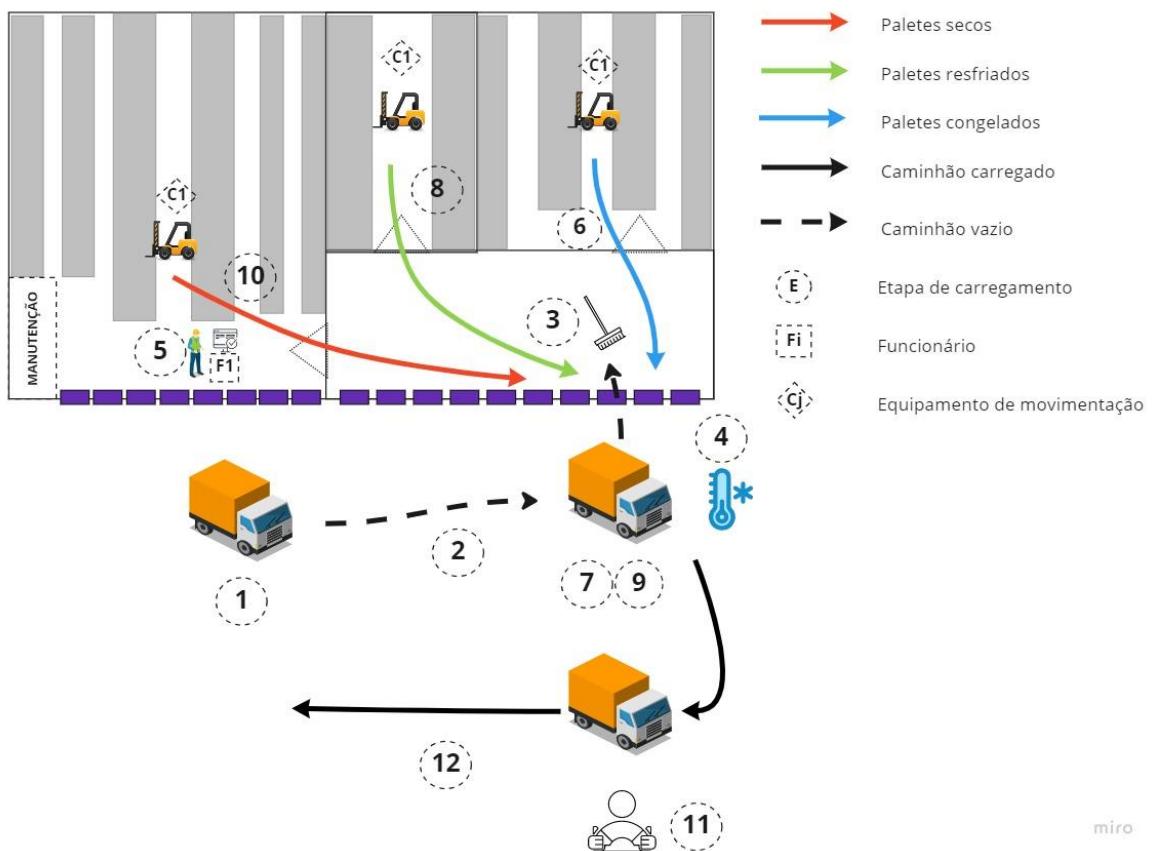
Tabela 5 - Etapas de carregamento de caminhões

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Funcionário</b>	<b>Tempo ou taxa</b>
1	Chegada do caminhão	-	10 caminhões/hora entre 22h e 6h
2	Estacionamento na doca	-	Entre 57s e 200s, com média 101,5 s por caminhão
3	Limpeza do caminhão	F1	Entre 4 min e 7 min, com média 5 min por caminhão
4	Ajuste da temperatura do caminhão	-	Entre 4 min e 7 min, com média 5 min por caminhão
5	Emissão de checklist de carregamento	F1	Entre 2 min e 5 min, com média 3 min por caminhão
6	Movimentação dos paletes congelados até caminhão	F1	Entre 50,8 s e 111,2s, com média 77,3 s por palete
7	Posicionamento da divisória térmica	F1	Entre 30,0 s e 60s, com média 40,0 s
8	Movimentação dos paletes refrigerados até caminhão	F1	Entre 37,7 s e 71,6 s, com média 53,3 s por palete
9	Posicionamento da divisória térmica	F1	Entre 30,0 s e 60s, com média 40,0 s
10	Movimentação dos paletes secos até caminhão	F1	Entre 18,5 s e 112,3s, com média 67,0 s por palete

11	Emissão da rota de viagem e embarque do motorista	F1	Entre 2 min e 7 min, com média 4 min por caminhão
12	Saída do caminhão	-	Entre 18,0s e 55,8s, com média 37,5 s por caminhão

Fonte: elaboração pela autora

Figura 23 - Modelo conceitual do processo de carregamento de caminhões



Fonte: elaboração pela autora com dados coletados em visita

O processo de descarregamento de caminhões, por sua vez, exige o trabalho de funcionários alocados nas 4 áreas de armazenamento. São disponibilizados 2 empregados na área de produtos secos, 2 empregados na área de produtos congelados, 1 funcionário na área de produtos resfriados e 1 empregado na antecâmara. O recebimento de mercadorias é iniciado

com a chegada do caminhão no estacionamento, onde para em uma das 10 vagas disponíveis, e com o ajuste do ar-condicionado do veículo para temperatura ideal de armazenamento dos produtos. Caso haja doca disponível, o caminhão estaciona na doca e se inicia a etapa de inspeção da mercadoria pelo F1. Durante a inspeção, o funcionário verifica a temperatura e as condições das caixas de produtos e registra os SKUs que chegam no armazém. Em seguida, inicia-se o descarregamento dos paletes secos, que são transferidos para empilhadeira e levados até a entrada da área de secos pelo F1. Um segundo funcionário (F2), alocado na área de secos, é responsável por acessar o WMS para determinar a posição de armazenamento dos paletes e por fazer o transporte final até o local. O F1 retorna ao caminhão e descarrega os paletes resfriados e os transfere até a entrada da área de resfriados com o auxílio de uma empilhadeira. Novamente, um funcionário F3 da área de resfriados é encarregado de verificar o local de armazenamento e de movimentar os paletes ao espaço. O F1 retorna ao caminhão, descarrega os paletes congelados e os movimenta até entrada da área de congelados, onde F4 checa local de armazenamento e faz sua movimentação final. Uma vez completamente descarregado, o caminhão é liberado e sai das instalações da Warehouse&Co.

A Tabela 6 explicita as etapas de descarregamento de caminhões, assim como os funcionários envolvidos. A Figura 24, por sua vez, representa graficamente o processo, indicando os locais onde ocorrem cada uma das etapas da Tabela 6.

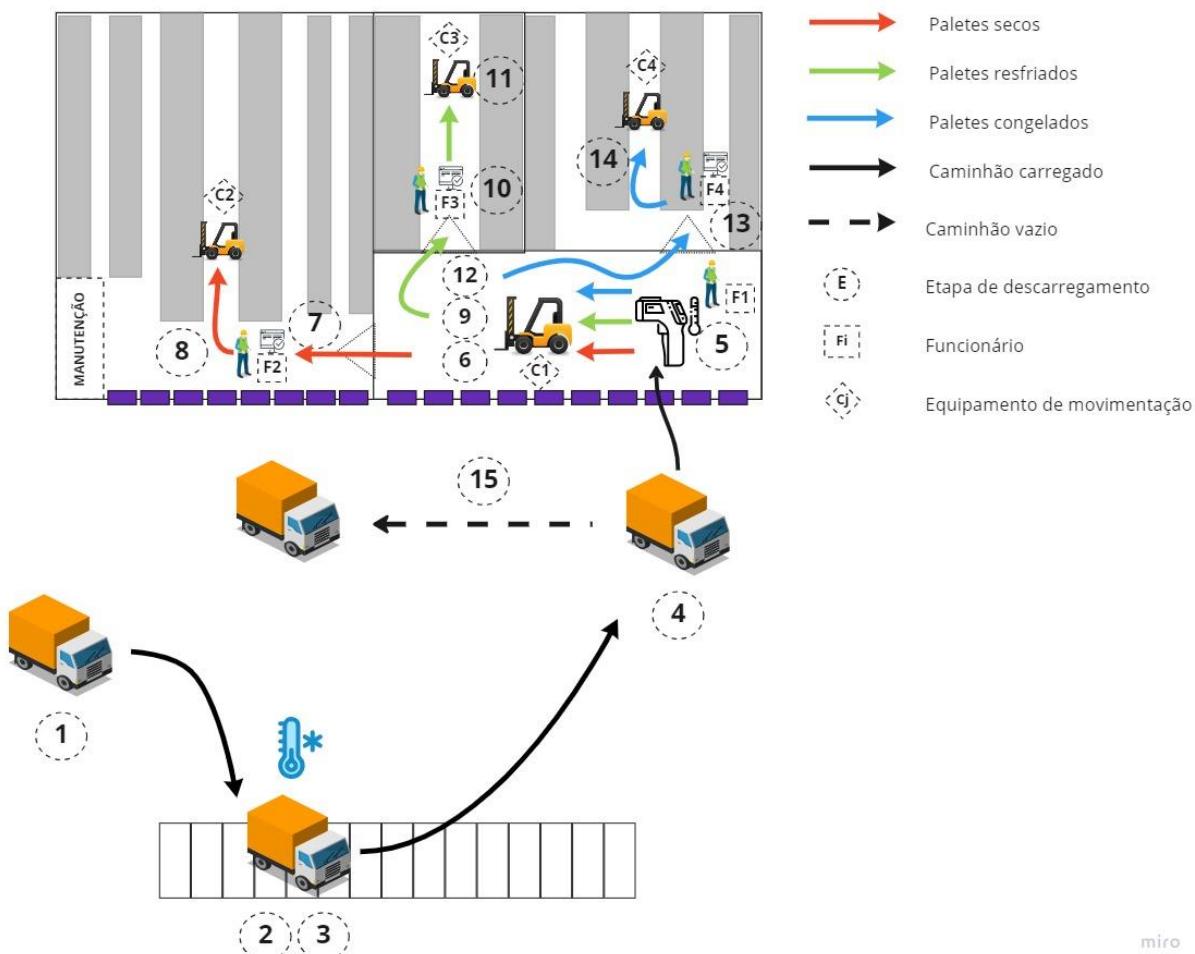
Tabela 6 - Etapas de descarregamento de caminhões

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Funcionário</b>	<b>Tempo ou taxa</b>
1	Chegada do caminhão	-	5 caminhões/hora entre 6h e 22h
2	Estacionamento na vaga	-	Entre 57s e 200s, com média 101.5 s por caminhão
3	Ajuste da temperatura do caminhão	-	Entre 4min e 7min, com média 5 min por caminhão

4	Estacionamento na doca	-	Entre 57s e 200s, com média 101,5 s por caminhão
5	Inspeção da mercadoria	F1	Entre 2 min e 4 min, com média 6 min por caminhão
6	Movimentação dos paletes secos até entrada da área de secos	F1	Entre 12,9s e 49,4s, com média 29,3 s por palete
7	Checagem de local de armazenamento dos paletes secos	F2	Entre 1 min e 3 min, com média 2 min por palete
8	Armazenamento dos paletes secos	F2	Entre 34,1 s e 124,6 s, com média 80,7 s por palete
9	Movimentação dos paletes resfriados até entrada da área de resfriados	F1	Entre 15,9s e 62,2, com média 38,7 s por palete
10	Checagem de local de armazenamento dos paletes resfriados	F3	Entre 1 min e 3 min, com média 2 min por palete
11	Armazenamento dos paletes resfriados	F3	Entre 30,0 s e 107,1s, com média 68,6 s por palete
12	Movimentação dos paletes congelados até entrada da área de congelados	F1	Entre 15,9 s e 85,4 s, com média 46,2 s por palete
13	Checagem de local de armazenamento dos paletes congelados	F4	Entre 1 min e 3 min, com média 2 min por palete
14	Armazenamento dos paletes congelados	F4	Entre 30,0 s e 93,3 s, com média 54,3 s por palete
15	Saída do caminhão	-	Entre 18,0 s e 55,8 s, com média 37,7 s por caminhão

Fonte: elaboração pela autora

Figura 24 - Modelo conceitual do processo de carregamento de caminhões



Fonte: elaboração pela autora com dados coletados em visita

Os dados qualitativos e quantitativos inerentes à construção da simulação do armazém foram obtidos a partir de entrevistas com funcionários e coleta de dados durante visitação ao CD e a partir da planta baixa do armazém, para determinação de rotas, tempos e distâncias de movimentação de empilhadeiras e caminhões. Outras fontes de informações logísticas, como sites especializados, artigos e vídeos, também foram utilizadas para levantamento de dados. A Tabela 7 mostra as informações quantitativas obtidas e suas respectivas fontes.

Tabela 7 - Dados quantitativos, respectivos valores e fontes de origem

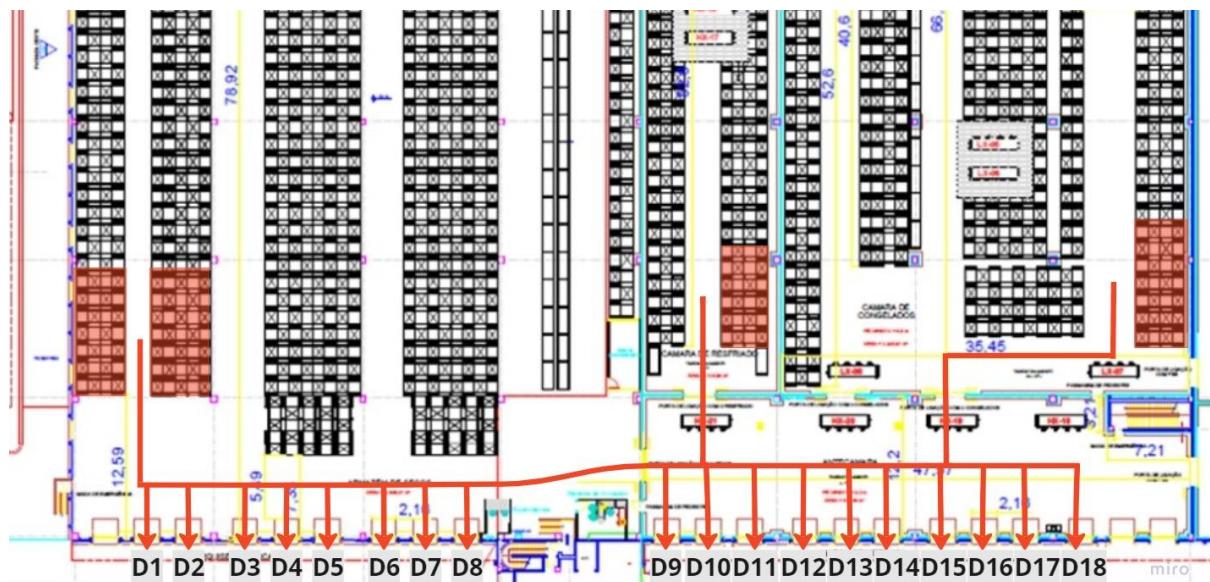
<b>Dado</b>	<b>Valor</b>	<b>Fonte</b>
Tempo máximo de carregamento	30 min/caminhão	Entrevista com funcionário de operação
Tempo máximo de descarregamento	30 min/caminhão	Entrevista com funcionário de operação
Número médio de caminhões carregados	80 caminhões/dia	Entrevista com funcionário de operação
Número médio de caminhões descarregados	80 caminhões/dia	Entrevista com funcionário de operação
Paletes carregados	6 congelados + 4 resfriados + 6 secos/caminhão	Entrevista com funcionário de operação
Paletes descarregados	6 congelados + 4 resfriados + 6 secos/caminhão	Entrevista com funcionário de operação
Velocidade média dos caminhões no estacionamento	7 km/h	Mensuração durante visitação
Velocidade média das empilhadeiras	7 km/h	Mensuração durante visitação
Tempo de movimentação do garfo das empilhadeiras	30 s	Mensuração durante visitação
Tempo de inspeção da mercadoria	Entre 2min e 6min, com média de 4min	Entrevista com funcionário de operação
Tempo de checagem em WMS	Entre 1min e 3min, com média de 2min	Pesquisa externa
Tempo de ajuste de temperatura dos caminhões	Entre 4min e 7min, com média de 5min	Entrevista com funcionário de operação
Tempo de manobra de caminhão em vagas ou docas	Entre 57s e 220s, com média de 101,5s	Pesquisa externa
Tempo de emissão de checklist	Entre 2 min e 5 min, com média de 3 min	Entrevista com funcionário de operação
Tempo de emissão de rota e embarque de motorista	Entre 2 min e 7 min, com média de 4min	Entrevista com funcionário de operação
Tempo de limpeza de caminhão	Entre 4 min e 7 min, com média de 5 min	Entrevista com funcionário de operação

Posicionamento da divisória térmica	Entre 30s e 60s, com média de 40s	Mensuração durante visitação
-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------

Fonte: elaboração pela autora com dados coletados em visita

As distâncias e tempos de movimentação de empilhadeiras dentro das áreas cobertas e de caminhões entre as vagas de estacionamento e docas foram obtidas por aproximação a partir da planta baixa e velocidades médias do caminhão e das empilhadeiras. As Figuras 25 e 26 representam as rotas adotadas para aproximação dos dados quantitativos e a Tabelas 8, 9 e 10 apresentam os tempos de movimentação obtidos.

Figura 25 - Rotas de carregamento de paletes de áreas de armazenamento para docas



Fonte: elaboração pela autora a partir da planta baixa cedida pela Warehouse&Co

A Tabela 8 abaixo apresenta os tempos projetados de movimentação entre as áreas de concentração de paletes para expedição (regiões destacadas pelos retângulos em vermelho) e as docas disponíveis para carregamento de caminhões (nomeadas de D1 a D12 na Figura 25). As rotas adotadas estão ilustradas pelas linhas em vermelho.

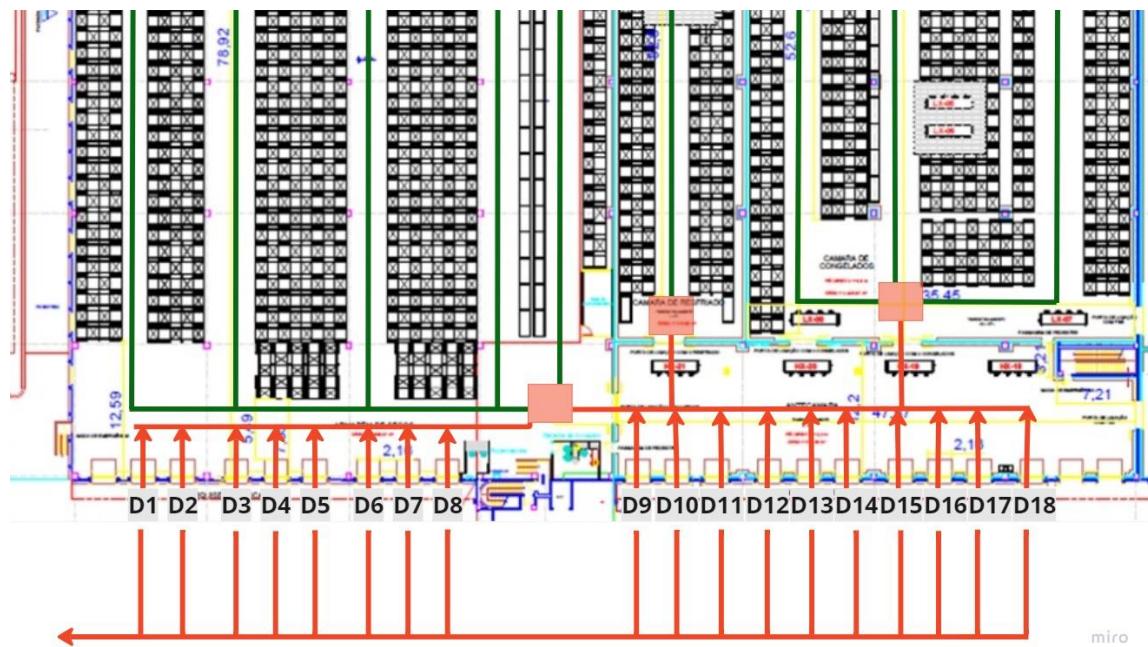
Tabela 8 - Tempos de movimentação de empilhadeiras das áreas de expedição para as docas

<b>Área de origem</b>	<b>Tempo de movimentação de empilhadeira</b>	<b>Valor (s)</b>
Secos	Tempo mínimo	18,5
	Tempo máximo	112,3
	Tempo médio	67,0
Resfriados	Tempo mínimo	37,7
	Tempo máximo	71,6
	Tempo médio	53,3
Congelados	Tempo mínimo	50,8
	Tempo máximo	111,2
	Tempo médio	77,3

Fonte: elaboração pela autora

O processo de descarregamento de caminhões conta com duas etapas de transporte de paletes. A primeira etapa consiste na movimentação do palete do caminhão localizado em uma das 18 docas (D1 a D18) até a entrada da sua respectiva área. Tal movimentação ocorre por meio das rotas representadas pelas linhas vermelhas até os retângulos vermelhos em cada uma das áreas de armazenamento na Figura 26. A segunda etapa de transporte consiste na movimentação do palete da entrada da área até o local de armazenamento e é realizada por meio das rotas entre as ruas do armazém, reproduzidas pelas linhas em verde na Figura 26.

Figura 26 - Rotas de descarregamento de paletes de áreas de armazenamento para docas



Fonte: elaboração pela autora a partir da planta baixa cedida pela Warehouse&Co

Tabela 9 - Tempos de movimentação de empilhadeiras das docas para a entrada das áreas de armazenamento

Área de destino	Tempo de movimentação de empilhadeira	Valor (s)
Secos	Tempo mínimo	12,9
	Tempo máximo	49,4
	Tempo médio	29,3
Resfriados	Tempo mínimo	15,9
	Tempo máximo	62,2
	Tempo médio	38,7
Congelados	Tempo mínimo	15,9
	Tempo máximo	85,4
	Tempo médio	46,2

Fonte: elaboração pela autora

A Tabela 10 foi elaborada com base das distâncias percorridas pelo palete através dos corredores e pelo tempo estimado de movimentação do garfo da empilhadeira, estimado em 30s.

Tabela 10 Tempos de movimentação de empilhadeiras de entrada das áreas de armazenamento para respectivos locais de estoque

<b>Área de origem</b>	<b>Tempo de movimentação de empilhadeira</b>	<b>Valor (s)</b>
Entrada da área de produtos secos	Tempo mínimo	34,1
	Tempo máximo	124,6
	Tempo médio	80,7
Entrada da área de produtos resfriados	Tempo mínimo	30,0
	Tempo máximo	107,1
	Tempo médio	68,6
Entrada da área de produtos congelados	Tempo mínimo	30,0
	Tempo máximo	93,3
	Tempo médio	54,3

Fonte: elaboração pela autora

## 5. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

A simulação adotada na modelagem do armazém estudado foi a simulação de eventos discretos. Entende-se que o foco do problema estudado está nos processos de carregamento e descarregamento e nas etapas que os compõem. Caminhões e paletes de produtos secos, refrigerados e congelados seguem o roteiro de atividades e sofrem alterações ao longo dos eventos. O armazém também se modifica no decorrer do tempo, com a ocorrência de filas de paletes e caminhões à espera de um recurso ou da entrada na próxima etapa.

O sistema do armazém da Warehouse&Co, portanto, pode ser modelado de modo que as etapas de carregamento e descarregamento sejam representadas por blocos da biblioteca de modelagem de processos do AnyLogic. Nesse contexto, caminhões e paletes de produtos tornam-se agentes do modelo e percorrem o fluxograma do processo de modo a alterar seus parâmetros.

Foram adotadas hipóteses para a padronização da simulação do sistema. A modelagem começa após a entrada do caminhão no portão do estabelecimento e se encerra com a saída do caminhão para a estrada após a finalização do carregamento ou descarregamento, portanto o motorista não estaciona nas vagas do estacionamento e o caminhão some do sistema quando completa manobra de saída da doca. Os caminhões retratados são idênticos e possuem capacidade de armazenamento de 16 paletes. As empilhadeiras também são consideradas idênticas e transportam um palete de produtos por vez. Além disso, considerou-se que a etapa de separação de produtos é anterior ao carregamento de caminhões e que os paletes de produtos descarregados são armazenados nos porta paletes sem rearranjo de sua configuração.

Optou-se pela construção dos processos estudados de forma separada, com o objetivo de analisar o carregamento e o descarregamento de caminhões individualmente. Desse modo, foi possível identificar o desempenho do armazém e buscar alternativas para otimizar os indicadores estudados em cada um dos processos.

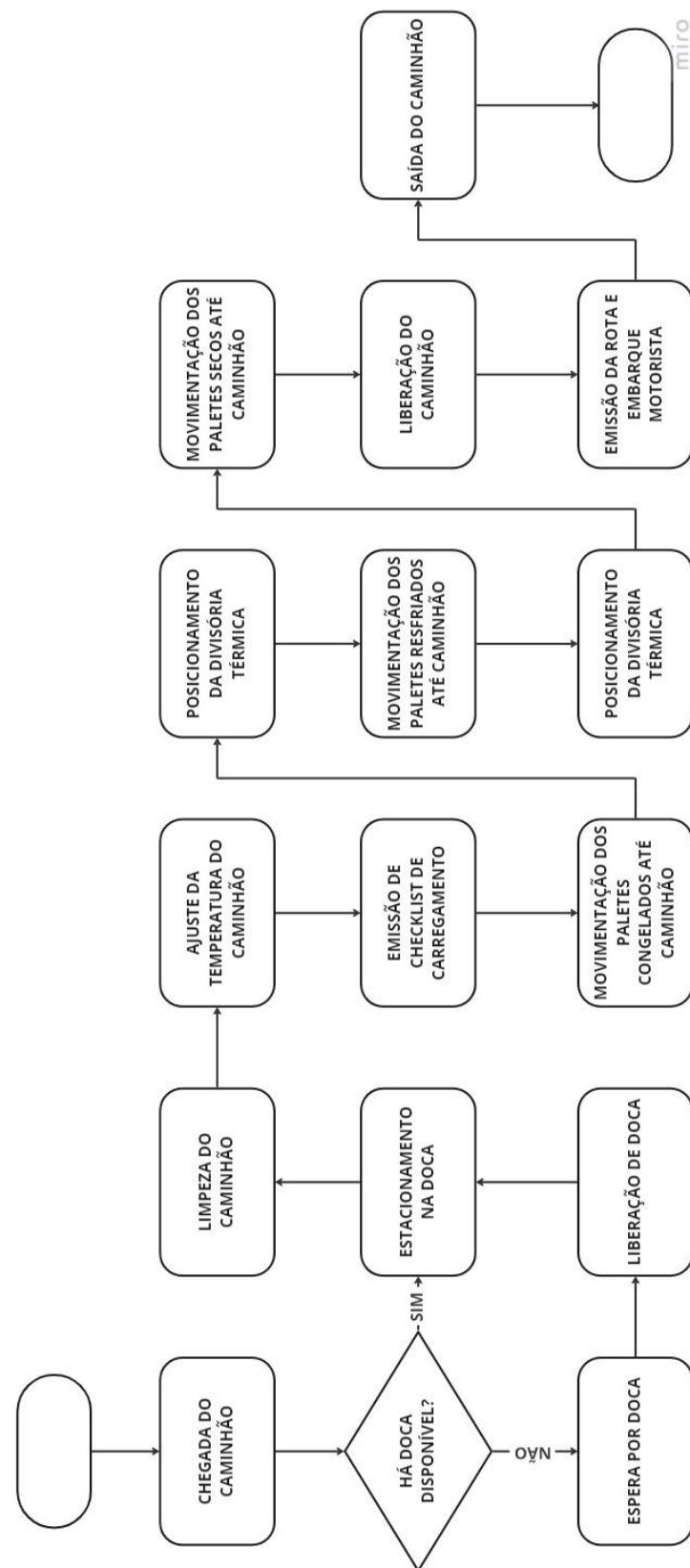
Com intuito de auxiliar a construção dos modelos dos processos estudados, foram elaborados fluxogramas (Fluxogramas 1 e 2) para delinear a lógica a ser seguida no software AnyLogic. Em seguida, os modelos computacionais foram elaborados (Figuras 27 e 28) e validados de acordo com os critérios especificados na Tabela 11.

Tabela 11 - Critérios de validação dos modelos de simulação

<b>Dado</b>	<b>Critério</b>	<b>Valor</b>
Tempo de ciclo médio	Dentro do intervalo de tempo da literatura	Até 120 min (KRAJEWSKI, 2016)
	Estabilização do valor médio	-
Caminhões e paletes processados	Em concordância com as taxas de entrada de caminhões	80 caminhões/dia, 480 paletes de produtos secos/dia, 320 paletes de produtos secos/dia e 480 paletes de produtos congelados/dia

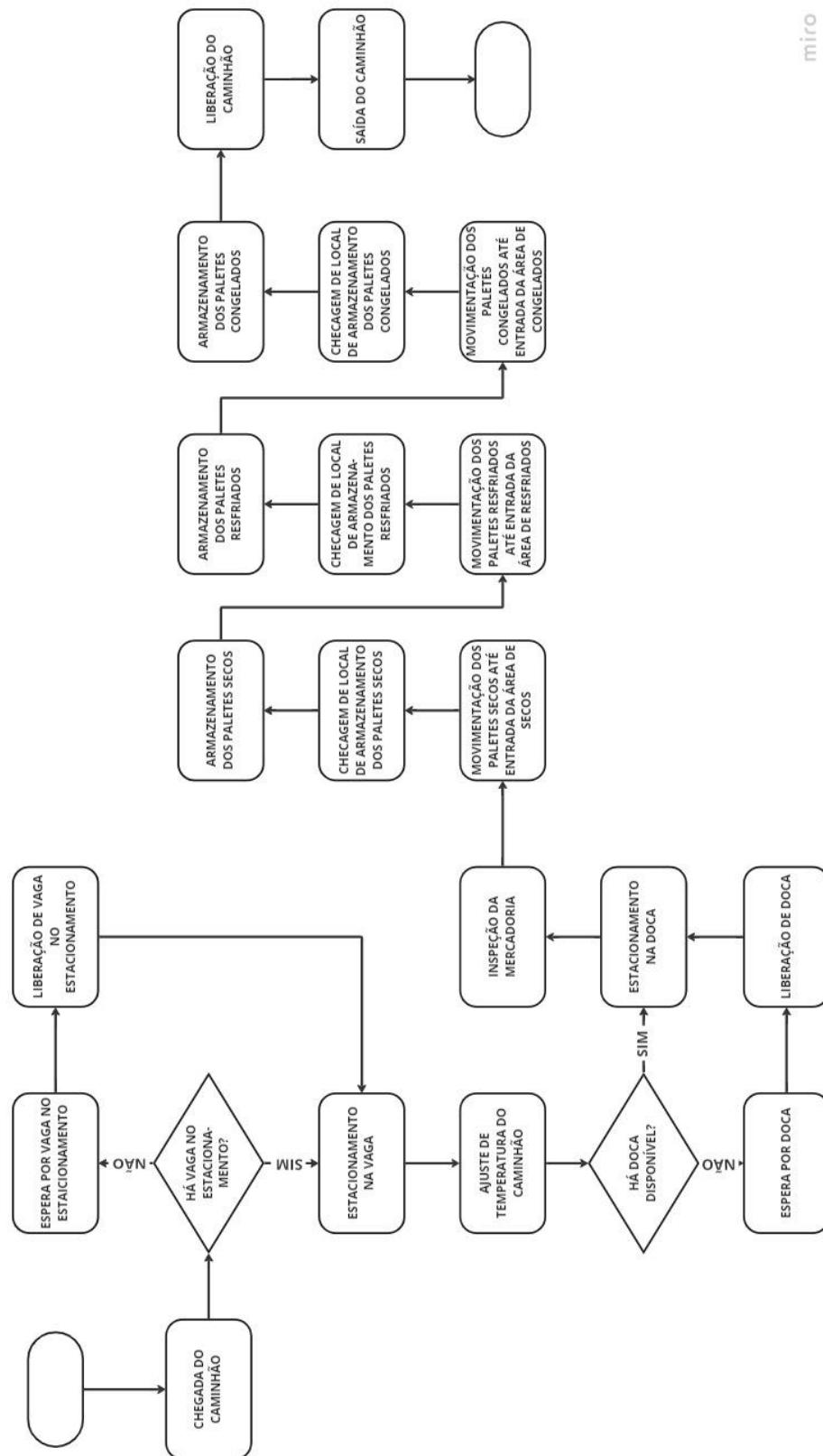
Fonte: elaboração pela autora

## Fluxograma 1 - Fluxograma do processo de carregamento de caminhões



Fonte: elaboração pela autora a partir de dados coletados em visitação

Fluxograma 2 - Fluxograma do processo de descarregamento de caminhões



Fonte: elaboração pela autora a partir de dados coletados em visitação

As Figuras 27 e 28 mostram os modelos de simulação dos processos de carregamento e descarregamento de caminhões, obtidos ao final da fase de implementação. As Tabelas 12 e 13 apresentam os blocos, agentes e recursos de cada processo, explicitando sua classificação e valores de entrada.

Tabela 12 - Blocos, agentes e recursos do processo de carregamento de caminhões

<b>BLOCOS</b>		
<b>Nome</b>	<b>Tipo</b>	<b>Tempo/Taxa/Unidades de recurso/Condição</b>
ChegadaCaminhao	<i>Source</i>	10 caminhões/hora no intervalo de 22h a 6h
OcupaDoca	<i>Seize</i>	1 doca
TempoManobra	<i>Delay</i>	triangular( 57, 101.5, 220 ) segundos
LimpezaCaminhao	<i>Delay</i>	triangular( 4, 5, 7 ) minutos
TempoAjusteTemperatura	<i>Delay</i>	triangular( 4, 5, 7 ) minutos
EmissaoChecklist	<i>Delay</i>	triangular( 2, 3, 5 ) minutos
FilaCongelados	<i>Queue</i>	-
PegaEmpilhadeira	<i>Seize</i>	1 empilhadeira
MovimentaCongelados	<i>Delay</i>	triangular(50.8,77.3,111.2) segundos
LiberaEmpilhadeira	<i>Release</i>	1 empilhadeira
VerificaPaletesCongelados	<i>SelectOutput</i>	agent.PaletesCongelados==6
PosicionaDivisoria	<i>Delay</i>	triangular( 30, 40, 60 ) segundos
FilaResfriados	<i>Queue</i>	-
PegaEmpilhadeira2	<i>Seize</i>	1 empilhadeira
MovimentaResfriados	<i>Delay</i>	triangular(50.8,77.3,111.2) segundos
LiberaEmpilhadeira2	<i>Release</i>	1 empilhadeira
VerificaPaletesResfriados	<i>SelectOutput</i>	agent.PaletesResfriados==4
PosicionaDivisoria2	<i>Delay</i>	triangular( 30, 40, 60 ) segundos
FilaCongelados	<i>Queue</i>	-
PegaEmpilhadeira3	<i>Seize</i>	1 empilhadeira

MovimentaSecos	<i>Delay</i>	triangular(18.5,67.0,112.3) segundos
LiberaEmpilhadeira3	<i>Release</i>	1 empilhadeira
VerificaPaletesSecos	<i>SelectOutput</i>	agent.PaletesSecos==6
RotaetMotorista	<i>Delay</i>	triangular( 2, 4, 7 ) minutos
SaidaCaminhaoDoca	<i>Delay</i>	triangular( 18, 37.5, 55.8 ) segundos
LiberaDoca	<i>Release</i>	1 doca
SaidaCaminhao	<i>Sink</i>	-

### AGENTES

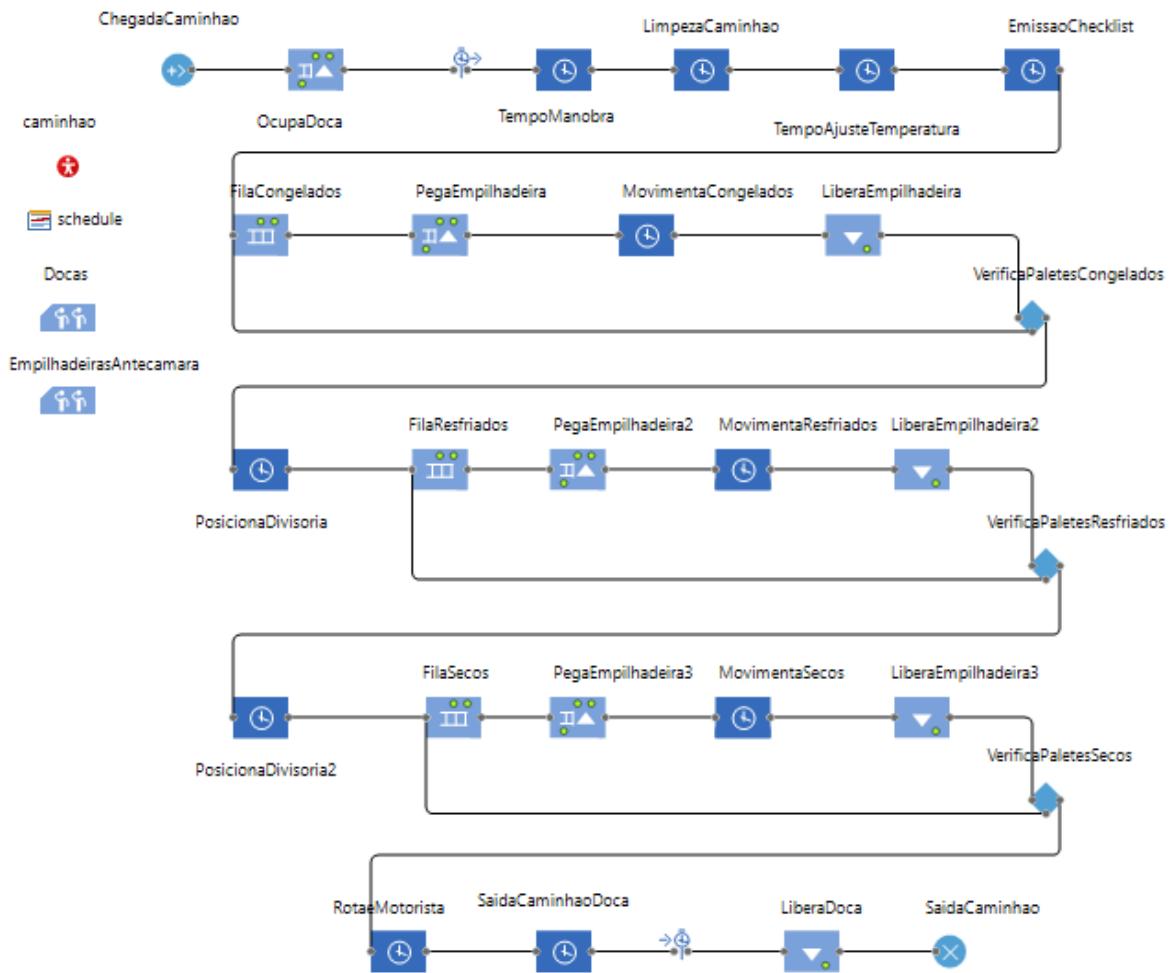
Nome	Parâmetro	Valor inicial
Caminhao	PaletesSecos	0
	PaletesResfriados	0
	PaletesResfriados	0

### RESOURCE POOL

Nome	Capacidade
Docas	18
EmpilhadeirasAntecamara	4

Fonte: elaboração pela autora a partir de dados coletados em visitação

Figura 27 - Modelo de simulação do processo de carregamento de caminhões



Fonte: elaboração pela autora

Tabela 13 - Blocos, agentes e recursos do processo de descarregamento de caminhões

<b>BLOCOS</b>		
<b>Nome</b>	<b>Tipo</b>	<b>Tempo/Taxa/Unidades de recurso/Condição</b>
ChegadaCaminhao	<i>Source</i>	5 caminhões/hora no intervalo de 6h a 22h
Estacionamento	<i>Seize</i>	1 vaga de estacionamento
TempoEstacionamento	<i>Delay</i>	triangular( 57, 101.5, 220 ) segundos
TempoAjusteTemperatura	<i>Delay</i>	triangular( 4, 5, 7 ) minutos
OcupaDoca	<i>Seize</i>	1 doca

TempoManobra	<i>Delay</i>	triangular( 57, 101.5, 220 ) segundos
LiberaEstacionamento	<i>Release</i>	1 doca
InspecionaMercadoria	<i>Delay</i>	triangular( 2, 4, 6 ) minutos
PegaEmpilhadeira	<i>Seize</i>	1 empilhadeira da antecâmara
MovimentaSecos	<i>Delay</i>	triangular(12.9,29.3,49.4) segundos
LiberaEmpilhadeira	<i>Release</i>	1 empilhadeira da antecâmara
SplitSeco	<i>Split</i>	1 cópia de agente palete
VerificaPaletesSecos	<i>SelectOutput</i>	agent.PaletesSecos==1
FilaSecos	<i>Queue</i>	-
PegaEmpilhadeira2	<i>Seize</i>	1 empilhadeira da área de secos
ChecagemLocalSecos	<i>Delay</i>	triangular( 60, 120, 180 ) segundos
ArmazenaSecos	<i>Delay</i>	triangular( 34.1, 80.7, 124.6 ) segundos
LiberaEmpilhadeira2	<i>Release</i>	1 empilhadeira da área de secos
Sink	<i>Sink</i>	-
PegaEmpilhadeira3	<i>Seize</i>	1 empilhadeira da antecâmara
MovimentaResfriados	<i>Delay</i>	triangular(15.9,38.7,62.2) segundos
LiberaEmpilhadeira3	<i>Release</i>	1 empilhadeira da antecâmara
SplitResfriado	<i>Split</i>	1 cópia de agente palete
VerificaPaletesResfriados	<i>SelectOutput</i>	agent.PaletesResfriados==1
FilaResfriados	<i>Queue</i>	-
PegaEmpilhadeira4	<i>Seize</i>	1 empilhadeira da área de resfriados
ChecagemLocalResfriados	<i>Delay</i>	triangular( 60, 120, 180 ) segundos
ArmazenaResfriados	<i>Delay</i>	triangular( 30, 68.6, 107.1 ) segundos
LiberaEmpilhadeira4	<i>Release</i>	1 empilhadeira da área de resfriados
Sink1	<i>Sink</i>	-
PegaEmpilhadeira5	<i>Seize</i>	1 empilhadeira da antecâmara

MovimentaCongelados	<i>Delay</i>	triangular(15.9,46.2,85.4) segundos
LiberaEmpilhadeira5	<i>Release</i>	1 empilhadeira da antecâmara
SplitCongelados	<i>Split</i>	1 cópia de agente palete
VerificaPaletesCongelados	<i>SelectOutput</i>	agent.PaletesCongelados==1
FilaCongelados	<i>Queue</i>	-
PegaEmpilhadeira6	<i>Seize</i>	1 empilhadeira da área de congelados
ChecagemLocalCongelados	<i>Delay</i>	triangular( 60, 120, 180 ) segundos
ArmazenaCongelados	<i>Delay</i>	triangular( 30, 54.3, 93.3 ) segundos
LiberaEmpilhadeira6	<i>Release</i>	1 empilhadeira da área de congelados
Sink2	<i>Sink</i>	-
SaidaCaminhaoDoca	<i>Delay</i>	triangular( 18, 37.7, 55.8 ) segundos
LiberaDoca	<i>Release</i>	1 doca
SaidaCaminhao2	<i>Sink</i>	-

**AGENTES**

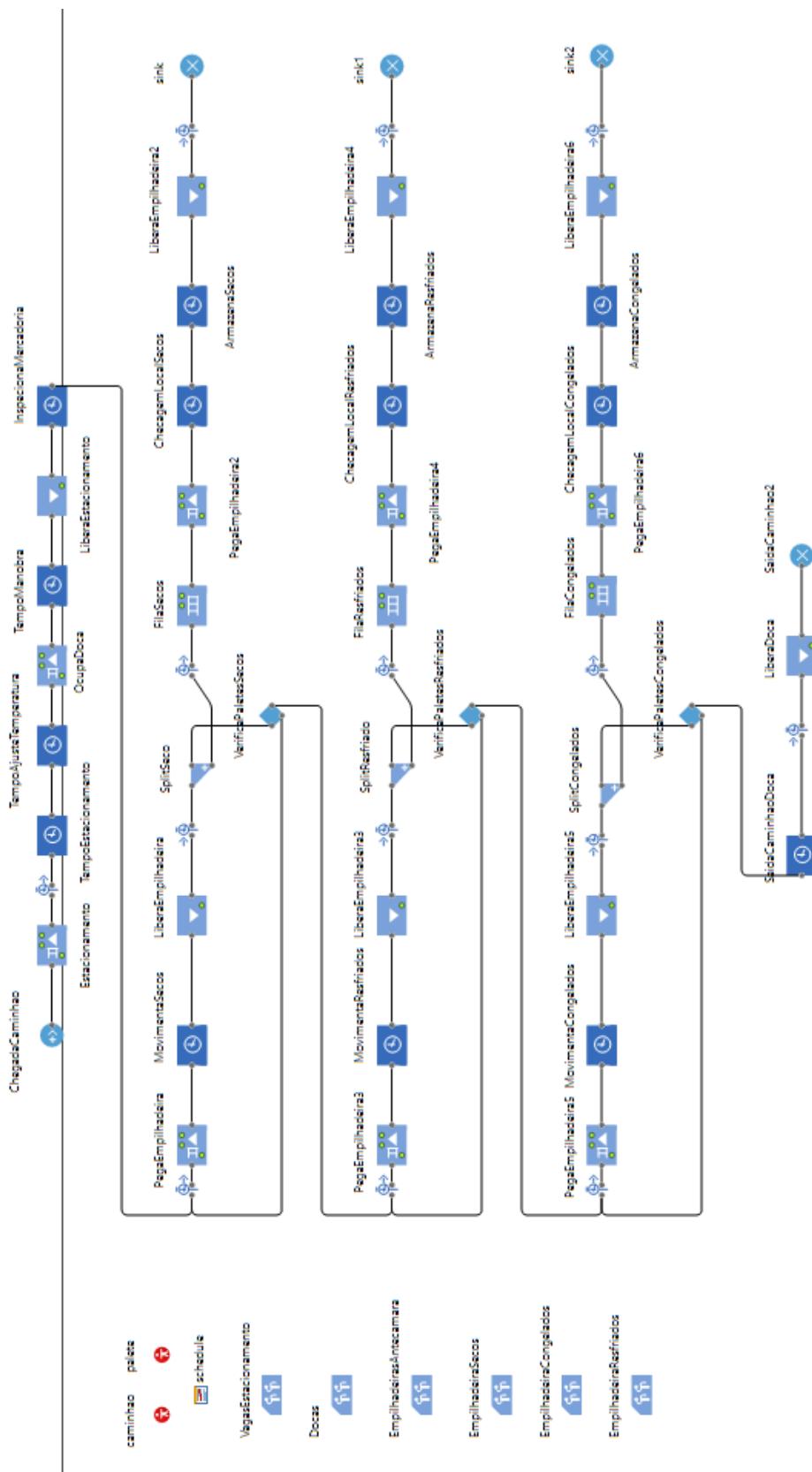
Nome	Parâmetro	Valor inicial
Caminhao	PaletesSecos	6
	PaletesResfriados	4
	PaletesResfriados	6
Palete	-	-

**RESOURCE POOL**

Nome	Capacidade
Docas	18
EmpilhadeirasAntecamara	4
VagasEstacionamento	10
EmpilhadeiraSecos	2
EmpilhadeiraCongelados	2
EmpilhadeiraResfriados	1

Fonte: elaboração pela autora

Figura 28 - Modelo de simulação do processo de descarregamento de caminhões



Fonte: elaboração pela autora

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para coleta dos resultados para análise do sistema do armazém, os modelos de simulação foram rodados por um período de 730 horas, equivalente a um mês de operação. A simulação buscou capturar os seguintes indicadores de desempenho operacional: tempo de ciclo médio por caminhão, tempo médio de armazenamento por palete, tempo médio de carregamento por palete, filas e utilização de recursos disponíveis no armazém.

O tempo de ciclo médio por caminhão mensura o intervalo de tempo entre a entrada do veículo na doca ou vaga de estacionamento e a sua saída do sistema, no momento em que finaliza movimentação para liberação da doca para se destinar à estrada. O indicador de tempo de armazenamento por palete é empregado no processo de descarregamento e marca intervalo de tempo entre o fim da movimentação de um palete até entrada da respectiva área até o fim do armazenamento no porta paletes. O tempo médio de carregamento por palete, por sua vez, mede o intervalo de tempo que o funcionário de operação leva entre a captura de uma empilhadeira e o fim da movimentação de um palete até o caminhão na doca.

Com base nos dados obtidos na simulação, correspondentes à operação atual do armazém, foram propostos cenários alternativos para avaliação:

- I. Cenário alternativo 1: alteração no número dos recursos de maior ocupação;
- II. Cenário alternativo 2: oscilação na demanda do mercado de rede de restaurantes;
- III. Cenário alternativo 3: alteração da configuração do processo.

O cenário alternativo 3 foi aplicado apenas no processo de carregamento de caminhões, que, como demonstrado no item 6.1, apresentou tempo de ciclo médio por caminhão superior à meta de 30 min.

### 6.1 Carregamento de caminhões

A Tabela 14 apresenta os dados obtidos na simulação do processo de carregamento de caminhões. O tempo de ciclo de carregamento de um caminhão obtido foi de 49,2min, superior à meta estipulada pelo armazém de 30min. O uso de docas não foi um fator limitante do processo, visto que sua utilização foi de apenas 15% e não houve instante com uso simultâneo das 18 docas. Em contrapartida, a utilização das empilhadeiras da antecâmara foi de 25% e houve formação de fila em todas as áreas de armazenamento à espera da liberação de empilhadeiras em dado momento da simulação.

Tabela 14 - Indicadores obtidos na simulação do cenário atual de carregamento de caminhões

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
Tempo de ciclo médio por caminhão	0,82h
Ocupação das docas	15%
Utilização das empilhadeiras da antecâmara	25%
Tempo médio de carregamento de paletes congelados	0,20h
Tempo médio de carregamento de paletes resfriados	0,08h
Tempo médio de carregamento de paletes secos	0,16h
Fila média para carregamento de paletes congelados	0,12 palete
Fila média para carregamento de paletes resfriados	0,02 palete
Fila média para carregamento de paletes secos	0,1 palete

Fonte: elaboração da autora

Tendo em vista a ocupação elevada de empilhadeiras, o cenário alternativo 1A foi concebido com a alteração do número de empilhadeiras disponíveis na antecâmara e de funcionários alocadas para operá-las. Foram avaliados os impactos dos indicadores de performance em função da disponibilidade de empilhadeiras na antecâmara, alternando-se o número de equipamentos de 1 a 7 empilhadeiras. A Tabela 15 apresenta os dados obtidos.

Tabela 15 - Indicadores em função do número de empilhadeiras disponíveis na antecâmara (cenário alternativo 1A)

<b>Indicador</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Tempo de ciclo médio por caminhão (h)	5,44	2,44	1,39	0,82	0,71	0,69	0,68
Utilização das docas	99%	46%	27%	15%	13%	12%	13%
Utilização das empilhadeiras da antecâmara	99%	52%	35%	25%	20%	16%	14%
Tempo médio de carregamento de paletes congelados (h)	2,43	0,99	0,49	0,20	0,15	0,14	0,13

Tempo médio de carregamento de paletes resfriados (h)	0,30	0,21	0,14	0,08	0,07	0,06	0,06
Tempo médio de carregamento de paletes secos (h)	2,34	0,86	0,38	0,16	0,12	0,11	0,11
Fila média para carregamento de paletes congelados (paletes)	6,61	2,50	0,99	0,12	0,02	0,00	0,00
Fila média para carregamento de paletes resfriados (paletes)	0,16	0,18	0,09	0,02	0,00	0,00	0,00
Fila média para carregamento de paletes secos (paletes)	6,35	2,14	0,68	0,10	0,02	0,00	0,00

Fonte: elaboração pela autora

Analizando o tempo de ciclo médio por caminhão e as filas médias para carregamento de modo gráfico, obtemos os Gráficos 1 e 2.

A adição de empilhadeiras para carregamento de caminhões origina ganhos significativos em relação ao tempo de ciclo até a quinta empilhadeira. O sistema com 5 empilhadeiras apresenta filas desprezíveis de paletes a serem movimentados. A adição de uma sexta empilhadeira, como indica o Gráfico 1, gera ganhos pouco significativos em termos de tempo de ciclo do caminhão, reduzindo em apenas 0,02h ou 2,8%. Apesar do aumento de empilhadeiras, o sistema atinge o tempo de ciclo mínimo, calculado com um número ilimitado de empilhadeiras, com 7 empilhadeiras e ainda não alcança a meta de 30 min por caminhão.

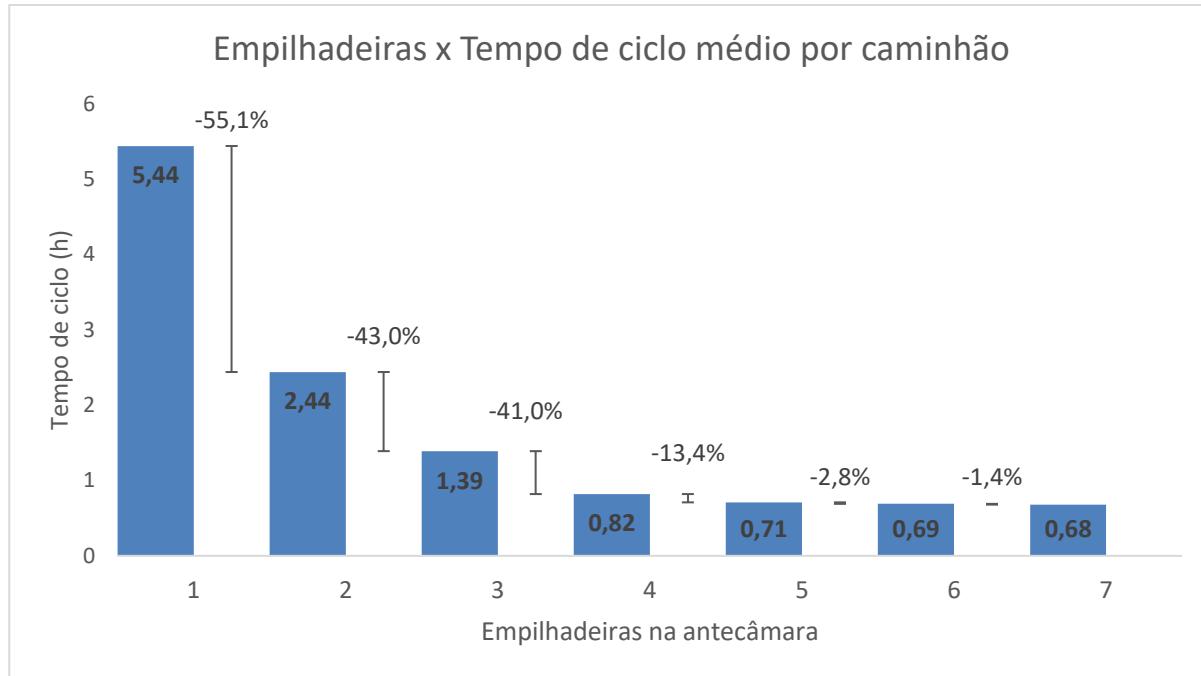


Gráfico 1 - Tempo de ciclo médio por caminhão em função do número de empilhadeiras (cenário alternativo 1A)

A partir do Gráfico 2, nota-se que há gargalos nas áreas de produtos secos e de produtos congelados. A adição de empilhadeiras teve influência significativa nas filas de paletes a serem carregados. No entanto, a partir da quarta empilhadeira, há ganhos menores em termos de fila média.

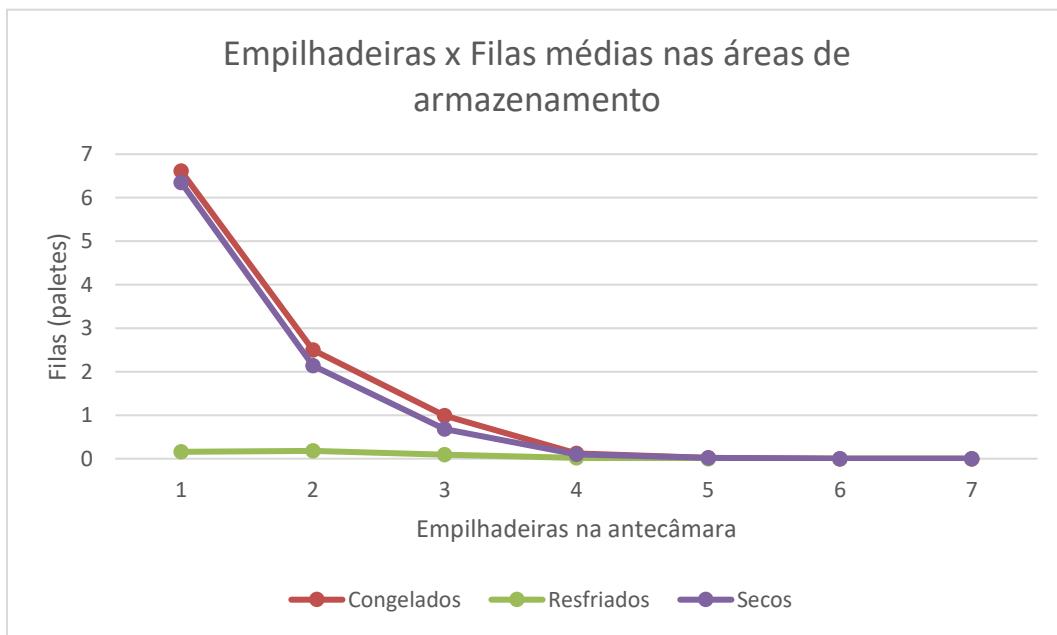


Gráfico 2 - Filas médias em função do número de empilhadeiras (cenário alternativo 1A)

No contexto do **cenário alternativo 1A**, verifica-se que a utilização de **5 empilhadeiras** mostrou-se mais benéfica. Isto deve-se à redução do tempo de ciclo em 13,4% e à formação de filas menores em relação ao cenário atual, que apresenta 4 empilhadeiras. A formação de filas é algo relevante no armazenamento de alimentos congelados e resfriados, de modo que tempos de espera menores garantem sua conservação.

Foi estudada a adição de um segundo funcionário no processo de recebimento de um caminhão em um cenário alternativo 1B. Desse modo, 2 paletes são transportados em conjunto, utilizando 2 empilhadeiras e 2 funcionários da operação. Os resultados obtidos estão em função do número de empilhadeiras disponíveis e são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Indicadores em função do número de empilhadeiras disponíveis na antecâmara (cenário alternativo 1B)

<b>Indicador</b>	<b>Empilhadeiras</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
Tempo de ciclo médio por caminhão (h)		2,42	0,68	0,56	0,53	0,53
Utilização das docas		48%	12%	10%	9%	9%
Utilização das empilhadeiras da antecâmara		52%	25%	17%	12%	10%
Tempo médio de carregamento de paletes congelados (h)		1,28	0,14	0,08	0,07	0,07
Tempo médio de carregamento de paletes resfriados (h)		0,15	0,06	0,04	0,03	0,03
Tempo médio de carregamento de paletes secos (h)		0,60	0,11	0,06	0,06	0,06
Fila média para carregamento de paletes congelados (paletes)		3,74	0,13	0,01	0,00	0,00
Fila média para carregamento de paletes resfriados (paletes)		0,11	0,02	0,00	0,00	0,00
Fila média para carregamento de paletes secos (paletes)		1,42	0,08	0,01	0,00	0,00

Fonte: elaboração pela autora

A participação de um segundo funcionário trouxe resultados melhores em relação ao cenário atual. Quando se compara o desempenho do sistema com 4 empilhadeiras, há evolução

de tempo de ciclo de 0,82h para 0,68h e redução dos tempos médios de carregamento de paletes e das filas. No entanto, o tempo de ciclo do caminhão atinge valor mínimo de 0,53h a partir de 8 empilhadeiras.

O Gráfico 3 ilustra a influência da adição de empilhadeiras no **cenário alternativo 1B**. Nota-se que o emprego de **6 empilhadeiras** é mais vantajoso em termos de ganhos de desempenho, uma vez que a variação de tempo de ciclo é pequena ao se utilizar 8 empilhadeiras. O Gráfico 4, em seguida, faz uma comparação entre os cenários atual e o cenário alternativo 1B em termos de tempo de ciclo médio por caminhão para a utilização de 4 empilhadeiras.

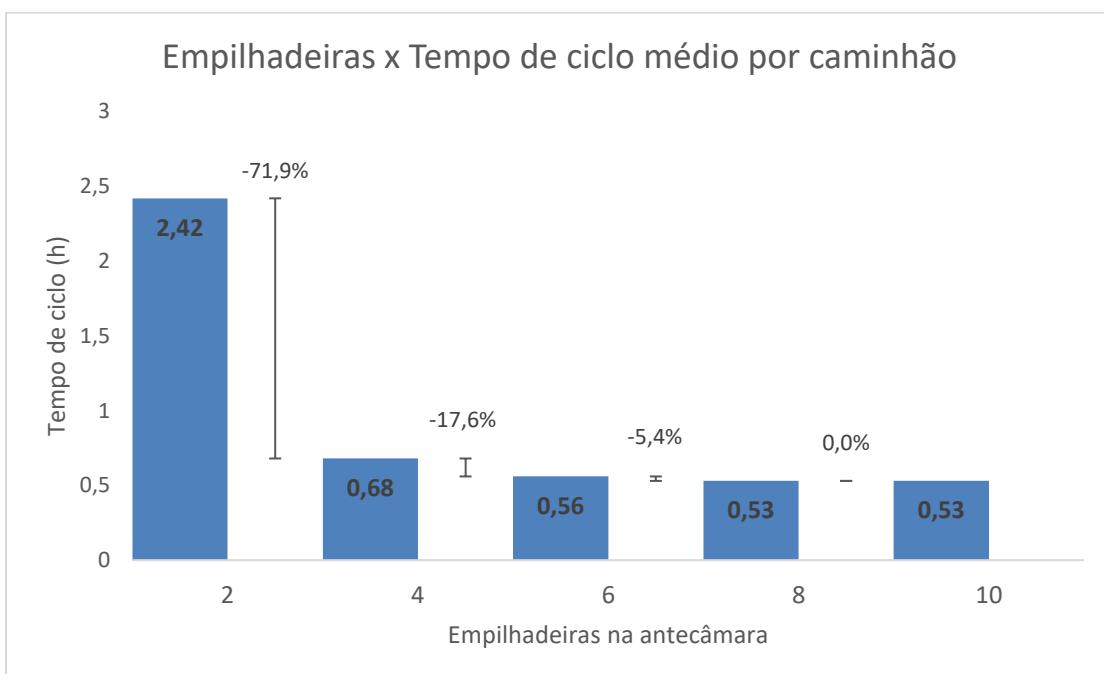


Gráfico 3 - Tempo de ciclo médio por caminhão em função do número de empilhadeiras (cenário alternativo 1B)

O Gráfico 4 também colabora com a adoção de 6 empilhadeiras no cenário alternativo 1B. As filas médias obtidas aproximam-se do zero e observa-se uma redução mais expressiva na fila de paletes congelados, que são mais sensíveis à temperatura, em relação ao emprego de apenas 4 empilhadeiras.

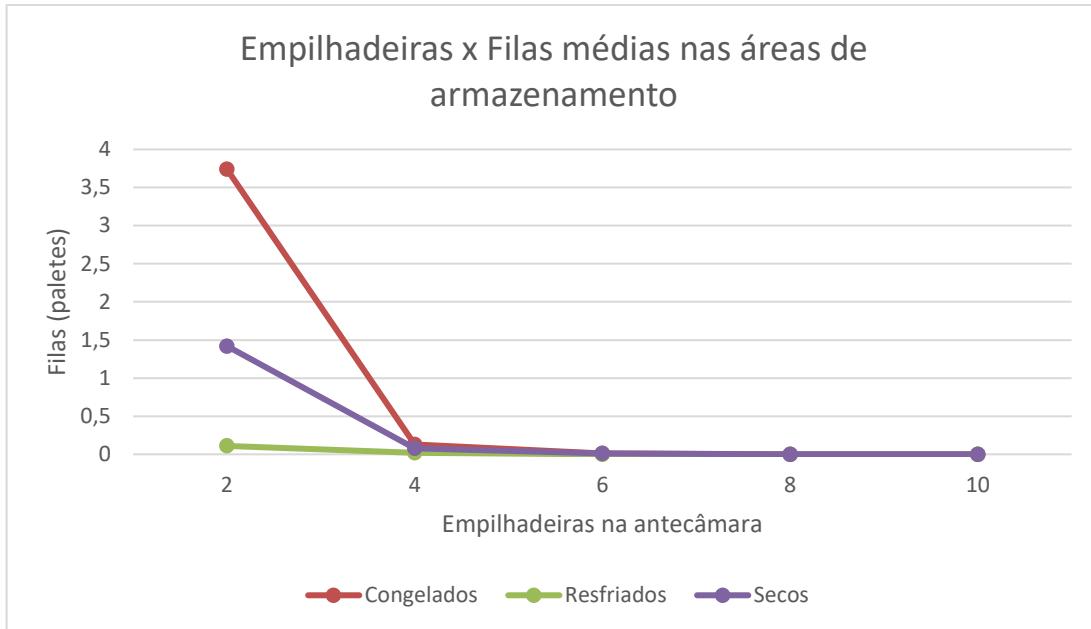


Gráfico 4 - Filas médias em função do número de empilhadeiras (cenário alternativo 1B)

Em relação ao cenário alternativo 2, a Tabela 17 demonstra o desempenho do armazém de acordo com o aumento ou diminuição da taxa de entrada de caminhões no sistema. O modelo de simulação da situação atual do armazém foi empregado, com a disponibilidade de 4 empilhadeiras e 1 funcionário de operação por caminhão. Os dados obtidos podem ser referência para avaliar mudanças do desempenho do sistema frente à oscilação da demanda do restaurante Fast&Food, devido a mudanças no mercado de lanchonetes ou ao *market share* do restaurante. Além disso, é possível avaliar o impacto de sazonalidades na demanda dos produtos.

Tabela 17 - Indicadores do cenário atual em função da taxa de entrada de caminhões (cenário alternativo 2)

Indicador \ Taxa de entrada (caminhões/h)	7	8	9	10	11	12	13
Tempo de ciclo médio por caminhão (h)	0,71	0,73	0,77	0,82	0,86	0,96	1,03
Utilização das docas	9%	11%	13%	15%	17%	21%	25%
Utilização das empilhadeiras da antecâmara	18%	21%	24%	25%	28%	30%	33%

Tempo médio de carregamento de paletes congelados (h)	0,15	0,15	0,17	0,20	0,21	0,25	0,30
Tempo médio de carregamento de paletes resfriados (h)	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11
Tempo médio de carregamento de paletes secos (h)	0,12	0,13	0,14	0,16	0,18	0,23	0,25
Fila média para carregamento de paletes congelados (paletes)	0,01	0,02	0,06	0,12	0,18	0,32	0,50
Fila média para carregamento de paletes resfriados (paletes)	0	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07
Fila média para carregamento de paletes secos (paletes)	0,01	0,02	0,04	0,1	0,14	0,32	0,40

Fonte: elaboração pela autora

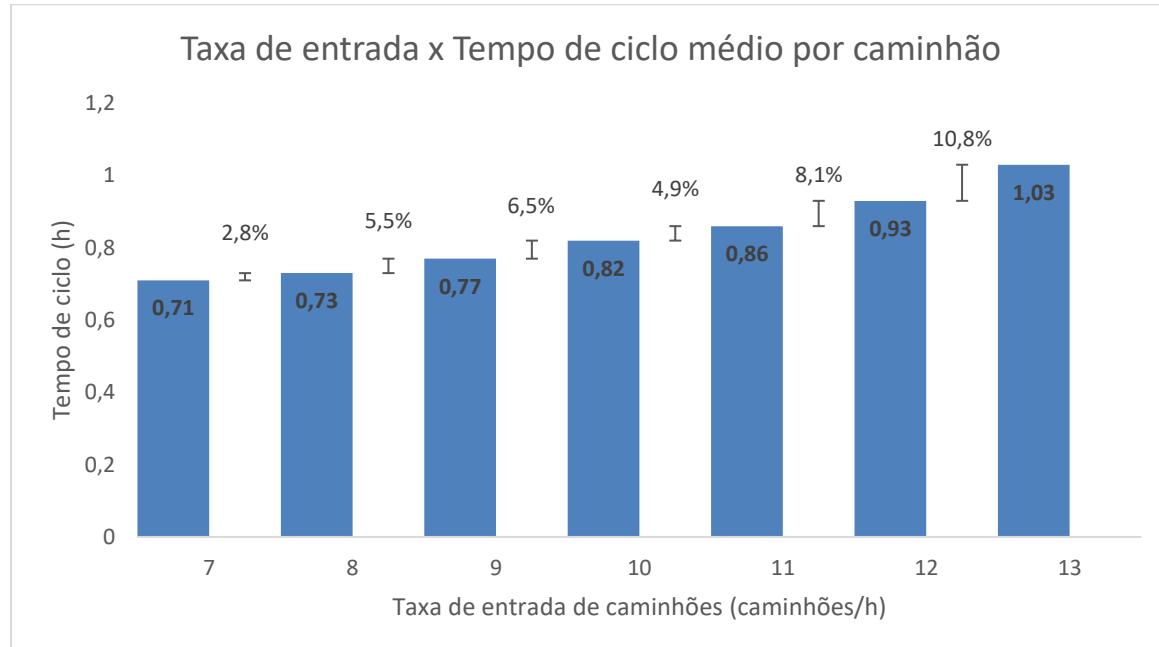


Gráfico 5 - Tempo de ciclo médio por caminhão em função da taxa de entrada de caminhões (cenário alternativo 2)

O Gráfico 5 e a Tabela 17 mostram a influência da taxa de entrada de caminhões no tempo de ciclo médio por caminhão. Observa-se uma redução da taxa não viabilizou o cumprimento da meta de tempo de ciclo médio de 30min. Um aumento de 30% na demanda por carregamento resultaria em tempos de ciclo superiores a 1h no contexto atual do sistema, com uso de 4 empilhadeiras.

Tabela 18 - Tempo de ciclo do caminhão (h) em relação ao número de empilhadeiras e taxa de entrada de caminhões (cenário alternativo 2)

<b>Taxa de entrada (caminhões/h)</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>
<b>Empilhadeira</b>							
1	4,76	4,88	5,14	5,44	5,44	5,45	5,45
2	1,57	2,03	2,31	2,44	2,48	2,53	2,58
3	0,80	0,96	1,17	1,39	1,35	1,62	1,61
4	0,71	0,73	0,77	0,82	0,86	0,96	1,03
5	0,69	0,69	0,70	0,71	0,73	0,75	0,81
6	0,68	0,68	0,68	0,69	0,69	0,70	0,71
7	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,69	0,69
8	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68

Fonte: elaboração pela autora

A Tabela 18 acima avalia o tempo de ciclo médio por caminhão em função do número de empilhadeiras e taxa de entrada de caminhões por hora. A partir da tabela, é possível avaliar a realocação ou investimento em empilhadeiras em períodos de variação de demanda. Nota-se que, a partir da sexta empilhadeira, a variação de tempos de ciclo é menor ao se oscilar a entrada de caminhões.

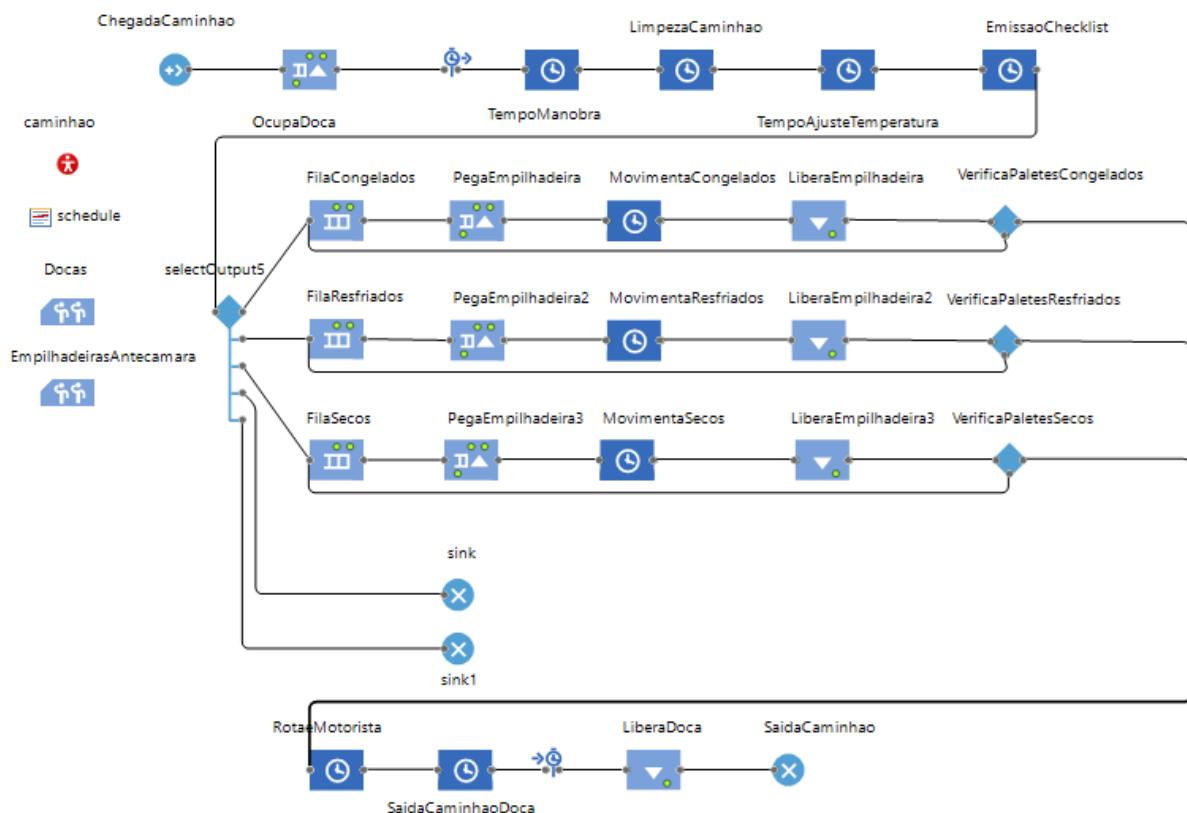
A redução da taxa de entrada de caminhões por hora em 30% (correspondente a 7 caminhões/h) e a alocação de 8 empilhadeiras não foram capazes de diminuir o tempo de ciclo para 0,5h. Portanto, é recomendável a exploração de um novo cenário alternativo. Considerando-se a meta de 30 min por carregamento de caminhão, foi proposto um terceiro cenário alternativo, visando à reorganização do processo atual. O cenário alternativo 3 buscou estudar a possibilidade de carregamento de caminhões homogêneos, isto é, compostos por um único tipo de produto. Para tal, considerou-se que a capacidade do caminhão é uniforme e de 16 paletes. A Tabela 19 mostra a lógica de cálculo utilizada na simulação e a Figura 29 ilustra o modelo obtido.

Tabela 19 Definição de caminhões homogêneos (cenário alternativo 3)

Tipo de palete	Total de paletes/dia	Caminhões/dia	Proporção (caminhões/total caminhões)
Produtos secos	480	30	0,375
Produtos resfriados	320	20	0,25
Produtos	480	30	0,375
Total	1280	80	1

Fonte: elaboração pela autora

Figura 29 - Modelo de simulação do cenário alternativo 3 de carregamento de caminhões



Fonte: elaboração pela autora

O cenário alternativo 3, como indica a Tabela 20, apresentou tempo de ciclo médio de 0,62h, 24,4% inferior ao tempo médio registrado no cenário atual. Como consequência, as taxas de ocupação das docas e das empilhadeiras e as filas médias de paletes também sofreram redução.

Tabela 20 - Indicadores obtidos na simulação do cenário atual e do cenário alternativo 3 de carregamento

Indicador	Cenário atual	Cenário alternativo 3
Tempo de ciclo médio por caminhão (h)	0,82	0,62
Utilização das docas	15%	11%
Utilização das empilhadeiras da antecâmara	25%	19%
Fila média para carregamento de paletes congelados (paletes)	0,12	0,04
Fila média para carregamento de paletes resfriados (paletes)	0,02	0,01
Fila média para carregamento de paletes secos (paletes)	0,1	0,01

Fonte: elaboração pela autora

O Gráfico 6 apresenta a influência do número de empilhadeiras na antecâmara no tempo de ciclo médio por caminhão no cenário alternativo 3. A nova configuração de entrega por meio veículos de carga homogênea permite o uso de 4 empilhadeiras, conforme situação atual de operação, de modo mais eficiente. Além de reduzir o tempo de ciclo médio em relação ao cenário atual, o emprego de uma quinta empilhadeira traria uma diminuição de apenas 3,2% no tempo de ciclo.

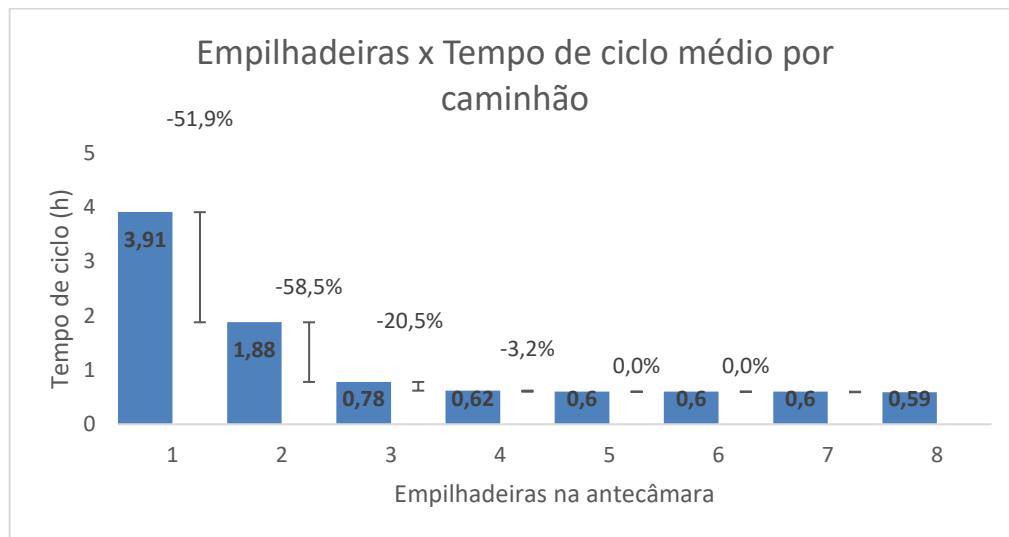


Gráfico 6 - Tempo de ciclo médio por caminhão em função do número de empilhadeiras (cenário alternativo 3)

Ao se comparar os tempos de ciclo médio em função do número de empilhadeiras e da taxa de entrada de caminhões, obtém-se a Tabela 21. Em relação ao cenário original, o cenário alternativo 3 alcançou tempos de ciclo reduzidos e demonstrou que, a partir de 5 empilhadeiras, oferece menor variabilidade de tempo de ciclo ao se oscilar a demanda de carregamento.

Tabela 21 - Tempo de ciclo do caminhão (h) em relação ao número de empilhadeiras e taxa de entrada de caminhões (cenário alternativo 3)

<b>Taxa de entrada (caminhões/h)</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>
<b>Empilhadeiras</b>							
1	3,44	3,34	3,81	3,91	4,00	4,05	4,21
2	0,89	1,31	1,43	1,88	1,69	1,88	1,90
3	0,64	0,64	0,72	0,78	0,89	0,85	1,06
4	0,61	0,60	0,63	0,62	0,63	0,70	0,80
5	0,60	0,60	0,60	0,60	0,62	0,63	0,62
6	0,58	0,60	0,59	0,60	0,59	0,60	0,60
7	0,58	0,59	0,59	0,60	0,59	0,59	0,59
8	0,58	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59

Fonte: elaboração pela autora

No contexto de reorganização do processo de carregamento de caminhões proposto pelo **cenário alternativo 3**, recomenda-se o uso de **4 empilhadeiras**.

## 6.2 Descarregamento de caminhões

A Tabela 22 apresenta os dados obtidos na simulação do processo de descarregamento de caminhões. O tempo de ciclo de descarregamento de um caminhão obtido foi de 24,6min, abaixo da meta estipulada pelo armazém de 30min. O uso de docas e de vagas de estacionamento não foi um fator limitante do processo, visto que ambos os recursos possuem utilização de apenas 5% e não houve instante com uso simultâneo das 18 docas ou das 10 vagas.

O processo apresentou gargalos nas entradas das áreas de armazenamento, momento em que os paletes aguardam o funcionário buscar a empilhadeira para completar estágios do armazenamento nos porta paletes. As utilizações das empilhadeiras das áreas de produtos secos, congelados e resfriados mostraram-se elevadas e houve acúmulo significativo de paletes a espera de sua estocagem. Este fato deve-se ao baixo tempo de transporte dos paletes do caminhão estacionado na doca à entrada da área de armazenamento. O funcionário alocado na

antecâmara leva em média 0,01h para movimentar cada palete da doca à região de concentração na entrada das áreas de armazenamento. Em contrapartida, as etapas posteriores são mais demoradas e apresentam recursos mais limitados.

Tabela 22 - Indicadores obtidos na simulação do cenário atual de carregamento

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
Tempo de ciclo médio por caminhão	0,41h
Tempo de armazenamento de paletes secos	0,47h
Tempo de armazenamento de paletes resfriados	1,5h
Tempo de armazenamento de paletes congelados	0,28h
Utilização das empilhadeiras da área de secos	57%
Utilização das empilhadeiras da área de resfriados	72%
Utilização das empilhadeiras da área de congelados	51%
Fila média na entrada da área de secos	8,09
Fila média na entrada da área de resfriados	19,22
Fila média na entrada da área de congelados	4,35
Utilização das docas	5%
Utilização das vagas de estacionamento	5%
Utilização das empilhadeiras da antecâmara	15%

Fonte: elaboração pela autora

Apesar de estar dentro do tempo de ciclo por caminhão estipulado pela Warehouse&Co, a alta concentração de paletes podem gerar filas que inviabilizam a continuidade dos processos de descarregamento do armazém.

Desse modo, como cenário alternativo 1, foi analisada a adição de funcionários nas áreas de armazenamento, representados pela disponibilidade de empilhadeiras. Os indicadores de tempo de armazenamento e tamanho das filas nas áreas de armazenamento foram avaliados na Tabela 23. A ampliação do número de funcionários e empilhadeiras destinadas ao

armazenamento nas áreas mostrou-se eficiente para reduzir os tempos de armazenamento e as filas.

<b>Indicador</b>	<b>+1 empilhadeira/área</b>	<b>+2 empilhadeiras/área</b>	<b>+3 empilhadeiras/área</b>
Tempo de armazenamento de paletes secos (h)	0,14h	0,09h	0,07h
Tempo de armazenamento de paletes resfriados (h)	0,13h	0,07h	0,06h
Tempo de armazenamento de paletes congelados (h)	0,10h	0,07h	0,06h
Utilização das empilhadeiras da área de secos	36%	26%	21%
Utilização das empilhadeiras da área de resfriados	34%	22%	16%
Utilização das empilhadeiras da área de congelados	32%	24%	19%
Fila média na entrada da área de secos (paletes)	1,44	0,51	0,26
Fila média na entrada da área de resfriados	0,73	0,17	0,07
Fila média na entrada da área de congelados	0,82	0,28	0,12

Tabela 23 - Indicadores em função da adição de empilhadeiras extras (cenário alternativo 1)

É relevante ressaltar que o tempo de ciclo médio por caminhão não é alterado pela variação do cenário alternativo 1, uma vez que o indicador mensura apenas o tempo de descarregamento da carga no armazém e desconsidera os tempos de armazenamento dos paletes na simulação.

Os Gráficos 7, 8 e 9 apresentam as filas médias de paletes nas entradas das áreas de produtos congelados, resfriados e secos em função do número de empilhadeiras adicionais por área. O cenário atual de descarregamento de caminhões está representado a partir das colunas de valor de empilhadeiras adicionais 0. Observa-se que o incremento de empilhadeiras extras por área de armazenamento é responsável por reduções muito significativas nas filas de paletes aguardando estocagem.

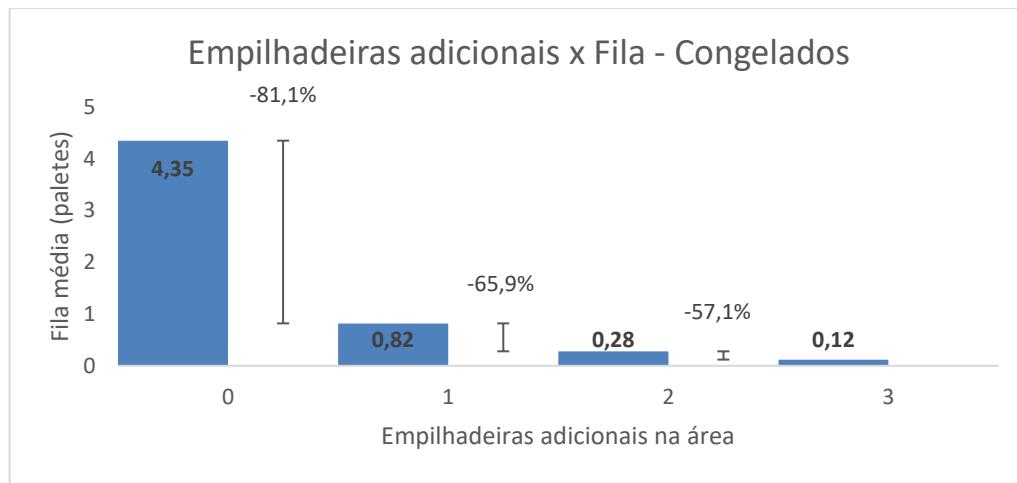


Gráfico 7 - Fila média de paletes em função de empilhadeiras adicionais na área de produtos congelados

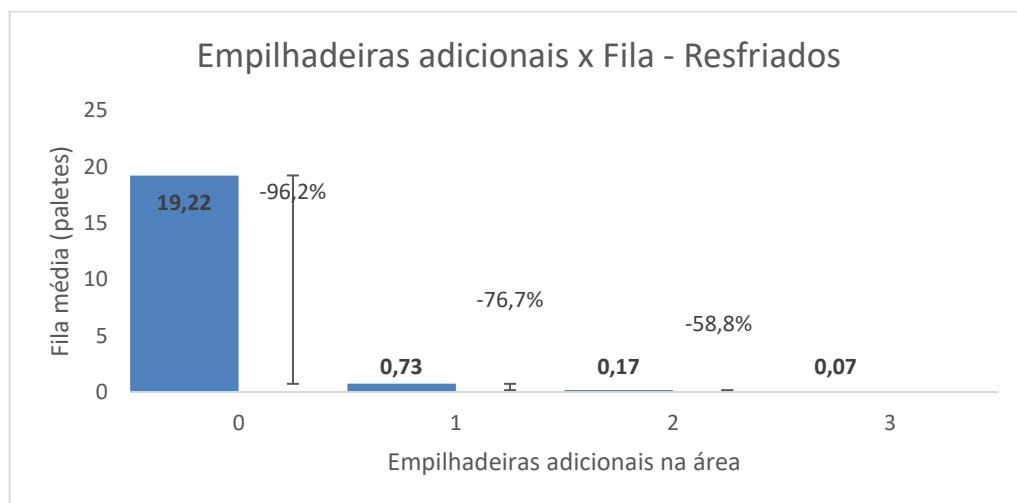


Gráfico 8 - Fila média de paletes em função de empilhadeiras adicionais na área de produtos resfriados

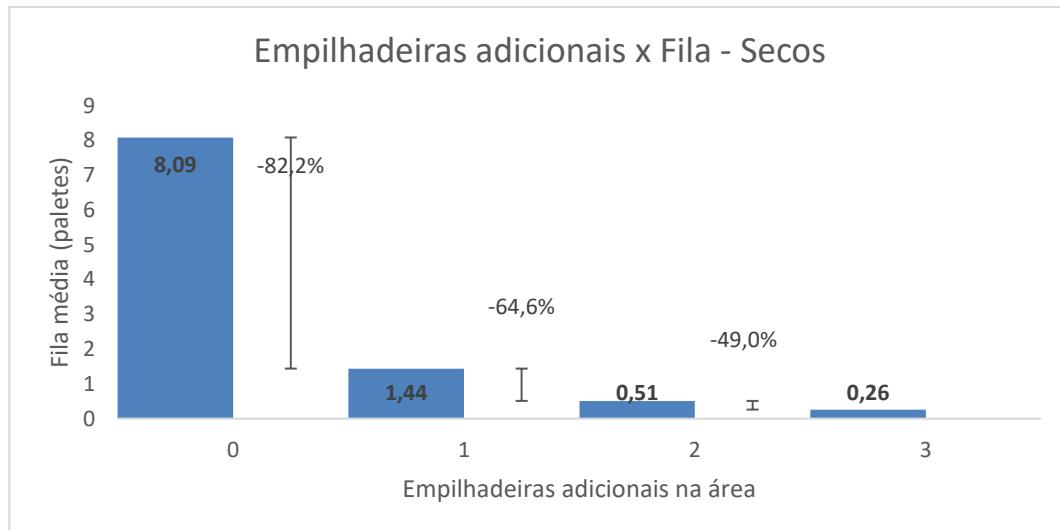


Gráfico 9 - Fila média de paletes em função de empilhadeiras adicionais na área de produtos secos

Frente ao desempenho insatisfatório do cenário atual da operação de descarregamento de caminhões, o cenário alternativo 2 foi desenvolvimento a partir do incremento de recursos proposto no cenário alternativo 1. A Tabela 24 apresenta os indicadores de desempenho em função da taxa de entrada de caminhões e a adição de empilhadeiras e trabalhadores nas áreas de armazenamento.

Tabela 24 - Indicadores em função da taxa de entrada de caminhões e da adição de empilhadeiras extras (cenário alternativo 2)

	+1 empilhadeira/área			+2 empilhadeiras/área			+3 empilhadeiras/área		
Indicador \ Taxa de entrada	3,5	5	6,5	3,5	5	6,5	3,5	5	6,5
Tempo de armazenamento de paletes secos (h)	0,10	0,14	0,20	0,08	0,09	0,11	0,07	0,07	0,08
Tempo de armazenamento de paletes resfriados (h)	0,10	0,13	0,17	0,07	0,07	0,09	0,06	0,06	0,06
Tempo de armazenamen-	0,08	0,10	0,13	0,06	0,07	0,08	0,06	0,06	0,06

to de paletes congelados (h)									
Ocupação das empilhadeiras da área de secos	26%	36%	46%	18%	26%	34%	15%	21%	28%
Ocupação das empilhadeiras da área de resfriados	25%	34%	43%	15%	22%	29%	12%	16%	22%
Ocupação das empilhadeiras da área de congelados	24%	32%	41%	16%	24%	31%	14%	19%	25%
Fila média na entrada da área de secos (paletes)	0,55	1,44	3,13	0,21	0,51	1,13	0,13	0,26	0,47
Fila média na entrada da área de resfriados (paletes)	0,29	0,73	1,56	0,07	0,17	0,37	0,03	0,07	0,12
Fila média na entrada da área de congelados (paletes)	0,32	0,82	1,81	0,11	0,28	0,64	0,06	0,12	0,24

Fonte: elaboração pela autora

O sistema mostrou-se sensível em relação à variação da taxa de entrada de caminhões, quando se adiciona apenas uma empilhadeira extra por área de armazenamento. As filas médias de paletes na entrada das áreas oscilaram significativamente, o que pode representar congestionamento no armazém e dificuldade de andamento dos processos internos. Dessa forma, a alocação de mais de uma empilhadeira é indicada em períodos de aumento de taxa de entrada de caminhões no armazém.

Tendo em vista os resultados apresentados, recomenda-se a adição de **2 empilhadeiras extras por área de armazenamento**. Tal medida garante a redução significativa de tempos de armazenamento de paletes, reduz as filas de paletes na entrada das áreas e garante uma menor oscilação dos indicadores frente à variação da entrada de caminhões no sistema.

## 7. CONCLUSÕES

O estudo identificou os principais indicadores de desempenho nos processos atuais de carregamento e descarregamento de caminhões e buscou elucidar o impacto de diferentes cenários no contexto do armazém. Observou-se que o incremento indiscriminado de recursos não assegura a melhora do desempenho dos sistemas, uma vez que os processos possuem limites de eficiência.

O carregamento de caminhões apresentou tempo de ciclo médio superior ao desejado, de modo que diferentes cenários foram idealizados na tentativa de reduzir o valor do indicador. Na Tabela 25, observam-se as recomendações feitas no Capítulo 6 a respeito os cenários alternativos 1A, 1B e 3. Todas as alternativas apresentaram redução do tempo de ciclo médio, no entanto possuem aspectos a serem discutidos.

A adição de uma empilhadeira no cenário 1A exigiria a realocação de um equipamento empregado em outro processo do armazém e de um funcionário para operá-lo. É também possível a compra de um equipamento extra. Dessa forma, é necessário avaliar o benefício financeiro que o incremento de produtividade promove em comparação ao custo de uma nova empilhadeira ou aos transtornos de uma realocação. Assim como o cenário anterior, o cenário 1B exigiria o emprego de mais mão de obra por caminhão e a adição de 2 empilhadeiras, acarretando a realocação de funcionários e equipamentos a compra de empilhadeiras novas para o processo.

O cenário 2, por sua vez, alteraria a dinâmica das entregas em restaurantes. Atualmente, um único caminhão realiza entregas de produtos secos, congelados e resfriados para um dado restaurante. Com a alteração da configuração dos veículos, o fornecimento de produtos seria realizado por mais de um caminhão. A análise mais aprofundada desta questão é fundamental para compreender as consequências nos custos de transporte e na dinâmica de recebimento pelas lanchonetes.

Tabela 25 - comparação entre melhores desempenhos obtidos nos cenários alternativos de carregamento

Cenário	Tempo de ciclo médio por caminhão (h)	Empilhadeiras da antecâmara	Funcionários por caminhão
Cenário atual	0,82	4	1
Cenário alternativo 1A	0,71	5	1
Cenário alternativo 1B	0,56	6	2
Cenário alternativo 3	0,62	4	1

Fonte: elaboração pela autora

Considerando-se apenas os aspectos quantitativos de desempenho, recomenda-se a adoção do **cenário alternativo 3**. Este cenário apresentou redução significativa de tempo de ciclo médio por caminhão e de filas em relação ao cenário atual. Em comparação aos demais cenários alternativos, não apresenta alteração dos recursos utilizados (funcionários por caminhão e empilhadeiras), o que torna desnecessário investimento extra ou realocação de recursos.

A respeito do processo de descarregamento, verificou-se que a disponibilidade atual dos recursos é insuficiente para garantir o bom fluxo de materiais no armazém, devido à formação de filas significativas. Nesse caso, a alocação de funcionários e empilhadeiras extras é recomendável e deve ser analisada pela Warehouse&Co. O estudo concluiu que a adição de 2 empilhadeiras por área de armazenamento é recomendável. Entretanto, é importante ressaltar a questão dos espaços disponíveis para movimentação de empilhadeiras. A área de produtos resfriados, por exemplo, possui uma única rua, o que inviabiliza a alocação de muitos equipamentos de movimentação.

Como próximos passos, recomenda-se o estudo dos processos de carregamento e descarregamento de caminhões em um único modelo de simulação. Desse modo, será possível avaliar com mais profundidade a utilização de docas e vagas de estacionamento, além de viabilizar uma visão global dos tempos de ciclo e do uso de recursos. Nesse contexto, a coleta de mais dados quantitativos durante a operação do armazém é indicada, com o objetivo de obter uma base de dados mais próxima da realidade do sistema.

## REFERÊNCIAS

**3PL CENTRAL. A History of Warehouse & Inventory Management Systems.** [S. I.]: 2020. Disponível em:

<https://www.3plcentral.com/blog/a-history-of-warehouse-inventory-management-systems>.

Acesso em: 02 out. 2022.

90° back. Alley dock Back with a drone. Produção: My Trucking Skills. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=3zuhUOdi0Xk>. Acesso em: 01 nov. 2022.

**ACKERMAN, Kenneth B.** Practical Handbook of Warehousing. 3rd ed. Nelson: Springer Science, 1990.

**ALICKE, Knut. HERRMANN, Jörn.** **Warehouses:** the boxes worth €300 billion. 2018. Disponível em:

<https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/warehouses-the-boxes-worth-300-billion>. Acesso em: 03 out. 2022.

Alley dock parking at truck stop. Produção: M, David. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=VH0AlzuhbeM>. Acesso em: 01 nov. 2022.

Alley dock with no pull ups. Produção: Don Getting It. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=nGZrhmdNiQc>. Acesso em: 01 nov. 2022.

**BALLOU, Ronald H.** **Gerenciamento da cadeia de suprimentos. Logística Empresarial.** 5<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

**BANKS, Jerry. CARSON II, John S. NELSON, Barry L. NICOL, David M.** Discret-Event System Simulation. 4th ed. (S.I.): Printice Hall, 2004.

**BARROS, André de Oliveira.** **A Gestão da Cadeia de Suprimentos como Vantagem Competitiva.** 2007. Trabalho Parcial (Bacharelado em Comunicação Social com habilitação em Propaganda e Marketing) – Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas - Centro Universitário de Brasília, Brasília: 2007.

**BARTHOLDI, John J. HACKMAN, Steven T.** **Warehouse & Distribution Science** - Release 0.98.1. [Atlanta]: 2019. *E-Book*.

**BORSHCHEV, Andrei.** **The Big Book of Simulation Modeling:** Multimethod Modeling with AnyLogic 6. [S. I.]: 2015. *E-Book*.

**BOWERSOX, Donald J. CLOSS, David J. COOPER, M. Bixby.** Supply Chain Logistic Management. New York: McGrawHill, 2002.

**BRANCO, Anselmo Lázaro.** Revoluções industriais - Primeira, segunda e terceira revoluções. UOL, 2022. Disponível em: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/revolucoes-industriais-primeira-segunda-e-terceira-revolucoes.htm>. Acesso em: 03 out. 2022

**BRESSAN, Graça.** Modelos de Simulação de Eventos Discretos. Universidade de São Paulo, 2002. Disciplina de Modelagem e Simulação de Sistemas Computacionais. Disponível em:

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2446242/mod\\_resource/content/1/modsim03.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2446242/mod_resource/content/1/modsim03.pdf). Acesso em: 20 jul. 2022.

CHAKRABORTY, Soumalya. KUMAR, Binay. MALGURI, Akhilesh. Reducing the Truck Turnaround Time inside a Heavy Manufacturing Industry through Makigami Analysis. **International Journal of Advanced Information Science and Technology**. Coimbatore, v 5, n. 9, September 2016. Disponível em:  
<http://www.ijaist.com/wp-content/uploads/2018/08/ReducingtheTruckTurnaroundTimeinsideaHeavyManufacturingIndustrythroughMakigamiAnalysis.pdf>. Acesso em: 30 out. 2022.

CHWIF, Leonardo. MEDINA, Afonso. **Modelagem e simulação de eventos discretos: Teoria e aplicações**. 4<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

COMERCIAL SOUZALOG. Estrutura push back. 1 fotografia. Disponível em:  
<https://www.comercialsouzalog.com.br/push-back/>. Acesso em: 27 nov. 2022

COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS. **Supply Chain Management Terms and Glossary**. [Lombard]: 2013. Disponível em:  
[https://cscmp.org/CSCMP/Academia/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms/CSCMP/Educate/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921](https://cscmp.org/CSCMP/Academia/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921). Acesso em: 29 out. 2022.

EMMETT, Stuart. **Excellence in Warehouse Management: how to minimise costs and maximise value**. [Chichester]: John Wiley & Sons, Ltd, 2005. *Ebook*.

ESTABLISH. **Logistic Cost and Service 2020**. The Establish Davis Database. [S. I.]: 2021. Disponível em:  
<https://static1.squarespace.com/static/57bf65a1c534a52224df643c/t/61bcda757d58a3178229263b/1639766645913/Logistics+Cost+and+Service+2020+Updated.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.

GRIGORYEV, Ilya. **Anylogic em três dias: um curso rápido de modelagem de simulação**. 2<sup>a</sup> ed., 2015. *E-Book*.

HOPSTACK INC. **Evolution of Warehousing Systems: history and timelines**. 2022. Disponível em:  
<https://www.hopstack.io/blog/evolution-warehousing-systems-history-timelines>. Acesso em: 03 out. 2022.

How to pass truck back parking, #90 degree back parking#. Produção: Ramdon Playlist. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=o7dfxIOv3Fg>. Acesso em: 01 nov. 2022.

How to perform a 90° backing maneuver. Produção: Master Trucking. Disponível em:  
<https://www.youtube.com/watch?v=RmbEZexiOwg>. Acesso em: 01 nov. 2022.

ISMA. Porta Palete. 1 fotografia. Disponível em: <https://isma.com.br/porta-paletes/>. Acesso em: 25 jul. 2022

KRAJEWSKI, Christa. **What's the Hold Up?** FMCSA's Audit of Load & Unload Times. Foley, Hartford, July 2016. Disponível em:  
<https://www.foleyservices.com/news/whats-hold-fmcsas-audit-load-unload-times/>. Acesso em: 12 nov. 2022.

Manobra com Truck em docas. Produção: Erick Mello. Disponível em:  
<https://www.youtube.com/watch?v=JCTfFn1FeXc>. Acesso em: 01 nov. 2022.

Manobra espaço reduzido na doca. Produção: Celso Silva. Disponível em:  
[https://www.youtube.com/watch?v=nYBOM8\\_qHaE](https://www.youtube.com/watch?v=nYBOM8_qHaE). Acesso em: 01 nov. 2022.

Manobra na doca. Produção: Celso Silva. Disponível em:  
[https://www.youtube.com/watch?v=Nm7um1K\\_qG4](https://www.youtube.com/watch?v=Nm7um1K_qG4). Acesso em: 01 nov. 2022.

MARTINS, Petrônio G. LAUGENI, Fernando Piero. 2<sup>a</sup> ed. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 2005.

MECALUX. **O que é um armazém?** Hortolândia, 2022. Disponível em:  
<https://www.mecalux.com.br/manual-de-armazenagem/armazem>. Acesso em: 11 abr. 2022.

Mooney CDL Training Alley Dock Backing Exercise with No Pull-ups. Produção: Chick Mooney. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=MxThfOgGGuw>. Acesso em: 01 nov. 2022.

Pontifícia Universidade Católica. **Teoria da dinâmica de sistemas**. Rio, cap. 2, p. 18-35. Disponível em: [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/8726/8726\\_3.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/8726/8726_3.PDF). Acesso em: 17 mai. 2022.

PORTAL IC PARQUES INDUSTRIAIS E CORPORATIVOS. **História e evolução da armazenagem**. 2019. Disponível em:  
<http://www.portalic.com.br/blog/sua-industria/historia-e-evolucao-da-armazenagem/#:~:text=Os%20primeiros%20registros,a%20planta%C3%A7%C3%A3o%20das%20colheitas%20seguintes>. Acesso em: 02 out. 2022.

POV Reversing my Scania S520 + semi-trailer to the loading dock! Produzido por: Kristo Boginski. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=7oLqAYJRnkw>. Acesso em: 01 nov. 2022.

SANKAR, Hamritha. B L, Neha. GOWDA, Sidddanth S. Study and Reduction of Truck Turnaround Time in the Brewing Industry. **International Journal of Industrial Engineering and Design**. Noida, v1, n. 1, p. 1-5, 2015. Disponível em:  
<https://mechanical.journalspub.info/index.php?journal=JIED&page=article&op=view&path%5B%5D=818&path%5B%5D=926>. Acesso em: 30 out. 2022.

SHAPIRO, Jeremy F. **Modeling the supply chain**. Pacific Grouve: 2001.  
CHUNG, Christopher A. **Simulation Modeling Handbook**: A Practical Approach. Boca Raton: CRC Press LLC, 2004.

SUNOL, Hector. **The Principles of a Warehouse Layout Design**. Cyzerg, 2022. Disponível em: <https://articles.cyzerg.com/warehouse-layout-design-principles>. Acesso em: 28 abr. 2022.

The AnyLogic Company. Library Reference Guides. **ResourcePool**. Chicago. Disponível em: <https://anylogic.help/library-reference-guides/process-modeling-library/resourcepool.html>. Acesso em: 06 mai. 2022.

The AnyLogic Company. **Why simulation modeling?** Chicago, 2022. Disponível em: <https://www.anylogic.com/>. Acesso em: 20 abr. 2022.

WIKIPEDIA. **Simulação de eventos discretos**. 2022. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Simula%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_eventos\\_discretos](https://pt.wikipedia.org/wiki/Simula%C3%A7%C3%A3o_de_eventos_discretos). Acesso em: 20 abr. 2022.