

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

VANGÜNTHER BOHN JÚNIOR

**SIMULAÇÃO E ANÁLISE DA TAXA DE OCUPAÇÃO DE EMPILHADEIRAS EM
UMA CÉLULA DE ARMAZENAGEM DE PRODUTOS ACABADOS**

Joinville

2017

VANGÜNTHER BOHN JÚNIOR

**SIMULAÇÃO E ANÁLISE DA TAXA DE OCUPAÇÃO DE EMPILHADEIRAS EM
UMA CÉLULA DE ARMAZENAGEM DE PRODUTOS ACABADOS**

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

Orientadora: Dra. Vanina Macowski Durski Silva.

Coorientadora: Dra. Christiane Wenck Nogueira Fernandes.

Joinville

2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente as interações e relacionamentos que em maior ou menor grau me influenciaram e me conduziram até este momento.

A meus pais, dando a base necessária para meu desenvolvimento.

A minha orientadora, Dra. Vanina Macowski Durski Silva, e coorientadora Christiane Wenck Nogueira Fernandes por acreditarem em meu potencial, pela determinação e conhecimento, que muito me influenciaram.

A todo corpo docente do curso de Engenharia de Transportes e Logística, que me ajudou a formar minha bagagem técnica e sempre foram solícitos e atenciosos. Agradeço também ao Maiko Nienkotter por esclarecer dúvidas sobre o estudo de caso, sempre acessível e cordial. Ao Dr. Carlos Mauricio Sacchelli, aos estudantes Patrícia Bilinski, Gustavo Henrique Moresco, Karine Zago, Bruna Grossl e ao Programa de Educação Tutorial que deram início a esta pesquisa.

A banca, que investiu seu tempo para auxílio e análise deste trabalho.

A você, caso não tenha sido citado acima, e está empregando seu tempo e empenho na busca de conhecimento.

“Eu não estou preocupado com a morte, mas com a vida, para que ela não seja banal e fútil. Quando você se for, o que vai deixar?”

Mário Sergio Cortella

“Só em nós mesmos podemos mudar alguma coisa, nos outros é uma tarefa quase impossível.”

Carl Gustav Jung

“A coisa mais indispensável a um homem é reconhecer o uso que deve fazer do seu próprio conhecimento.”

Platão

RESUMO

O dinamismo existente no cenário empresarial contemporâneo exige cada vez mais a assertividade nas decisões, o conhecimento e controle de toda a cadeia de suprimentos. Portanto, a utilização de ferramentas que corroborem para esclarecer, modificar e analisar os processos e operações no âmbito fabril torna-se um auxiliador pertinente nas tomadas de decisão. A Pesquisa Operacional (PO) é um dos ramos que estuda os processos com enfoque a otimizá-los, e neste trabalho será utilizada em um dos seus segmentos, denominado Simulação de Eventos Discretos. Este trabalho apresenta um estudo de caso de um armazém de uma empresa de grande porte do segmento de linha branca em Joinville, analisando a capacidade de empilhadeiras através de um modelo de Simulação de Eventos Discretos baseado na Teoria das Filas, utilizando o *software* Arena 14.07 versão estudantil. A modelagem apresentada tem o objetivo de elucidar a utilização da(s) empilhadeira(s), considerando os tempos dos processos, distribuição dos produtos ao seus locais de destino e quantidade de recursos (empilhadeiras) envolvidos. Para isso, utilizou-se três cenários distintos, sendo que o cenário 1, representa de maneira simplificada o que ocorre na empresa, em um dia de elevada movimentação em cada mês, demonstrando mais detalhadamente os resultados do dia de maior ocupação das empilhadeiras. O cenário 2 busca analisar o impacto de um possível aumento da demanda no setor de armazenagem em um dia que representa melhor o comportamento do período em estudo. O cenário 3 faz alterações na distribuição dos destinos de transporte para analisar o ganho em capacidade das empilhadeiras. Os resultados se mostraram coerentes com a realidade praticada pela empresa em estudo: i) o cenário 1 retornou no dia mais crítico uma taxa média de ocupação instantânea das empilhadeiras de 29,78% (variando entre duas a cinco empilhadeiras no turno); ii) no cenário 2 verificou-se que ao elevar mais que 20% a demanda de *chamadas de transporte*, é necessário inserir uma empilhadeira a mais em algum dos turnos; iii) no cenário 3 houve uma diminuição na porcentagem de 0,66 na taxa de ocupação de cada empilhadeira utilizada (2,2%). Percebeu-se, portanto, que através do emprego da modelagem e simulação e fundamentos da engenharia de transportes e logística foi possível analisar um problema real, no intuito de auxiliar o tomador de decisão da empresa a optar por melhores soluções a seus problemas.

Palavras-chave: Simulação de Eventos Discretos. *Software* Arena. Armazenagem. Capacidade de empilhadeiras.

ABSTRACT

The dynamism of the contemporary business scenario increasingly demands assertiveness in decisions, knowledge and control of the entire supply chain. Therefore, the use of tools that corroborate to clarify, modify and analyze the processes and operations in the factory scope become pertinent helpers in the decision making. The Operational Research (OR) is one of the branches that studies the processes with a focus on optimizing them, and in this work will be used in one of its segments, called Discrete Event Simulation. This paper presents a case study in a warehouse distribution cell of a large company of the white line segment in Joinville, analyzing forklift capacity through a Discrete Event Simulation model based on Queue Theory, using the Arena software student version 14.07. The modeling presented has the objective of elucidating the use of the forklift(s), considering the times of the processes, distribution of the places of destination and quantity of resources (forklifts) involved. For this, three different scenarios were used, the scenario 1 represents in a simplified day what happens in the company, between a day of high movement in each month, showing in more detail the results of the day of greatest occupation of forklifts. Scenario 2 seeks to analyze the impact of a possible increase in demand in the warehousing sector on a day that best represents the pattern of the period under study. Scenario 3 makes changes in the distribution of the transport destinations to analyze the gain in capacity of the forklifts. The results were consistent with reality practiced by the company under study: i) scenario 1 returned on the most critical day an average rate of instantaneous occupancy of the forklift trucks of 29.78% (ranging from two to five forklifts in the shifts); i) in scenario 2, it was verified that by raising the call spacing by more than 20% for a standard day, it is necessary to insert an additional forklift in any of the shifts; iii) in scenario 3 there was a decreased of 0.66 in the occupation rate of each forklift truck used in the occupancy rate of each forklift used (2.2% decrease). It was perceived, therefore, that through the use of modeling and simulation and fundamentals of transportations and logistics engineering, it was possible to analyze a real problem, to help the decision maker of the company to opt for better solutions to their problems.

Keywords: Discrete Event Simulation. Software Arena. Storage. Forklift capacity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Etapas de pesquisa	17
Figura 2 - Fluxo de operações em um armazém de produtos acabados.....	25
Figura 3 - Exemplos de equipamentos mecanizados de manuseio	27
Figura 4 – Exemplo de empilhadeira	28
Figura 5 – Representação esquemática de um modelo de sistema	33
Figura 6 – Classificação dos sistemas para fins de modelagem	34
Figura 7 – Abordagens de MSCS conforme o nível de abstração.....	35
Figura 8 – Representação esquemática de estações de trabalho e seus fluxos.....	40
Figura 9 – Fluxograma dos processos de movimentação em estudo.....	44
Figura 10 – Fluxograma dos processos no sistema.....	45
Figura 11 – Fluxograma da lógica de modelagem.....	46
Figura 12 – Representação do lote máximo	47
Figura 13 – Distribuição de probabilidade dos intervalos entre chamadas por empilhadeiras	51
Figura 14 – Criação das entidades	56
Figura 15 – <i>Station</i> Chamada empilhadeira	57
Figura 16 – Requisita empilhadeiras.....	57
Figura 17 – Organização dos lotes.....	58
Figura 18 – Distribuição dos blocos de destino de armazenagem.....	59
Figura 19 – Transporte até o local de endereçamento	59
Figura 20 – Tempo de guarda do lote no local de destino	60
Figura 21 – Liberação do transporte	61
Figura 22 – Módulo <i>Create</i> “Tempo entre chamadas por empilhadeiras”	62
Figura 23 – Bloco <i>Assign</i> atribuindo valores das distâncias até os destinos.....	62
Figura 24 – Processo de transporte.....	63
Figura 25 – Cronograma de recursos (empilhadeira)	64
Figura 26 – Escala de empilhadeiras para simulação no dia 13	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Princípios das operações de um armazém	23
Quadro 2 - Diretrizes para projeto de sistemas para manuseio de materiais.....	26
Quadro 3 – Comparação entre vantagens e desvantagens referente à MSCS	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de determinação de porcentagem e distância para os destinos no depósito	49
Tabela 2 – Distribuições de probabilidade	54
Tabela 3 – Parâmetros de validação dos modelos	67
Tabela 4 – Taxa de ocupação das empilhadeiras cenário 1 (Modelo A)	68
Tabela 5 – Resultados das replicações do cenário 1.1 (Modelo A).....	69
Tabela 6 - Resultados das replicações do cenário 1.1 (Modelo B).....	71
Tabela 7 - Resultados das replicações do cenário 2 sem alteração na demanda (modelo B)...	73
Tabela 8 – Dados relativos ao aumento da demanda por <i>chamadas de transporte</i>	74
Tabela 9 – Ordenação dos blocos (corredores) da menor para maior distância de transporte .	75
Tabela 10 - Resultados das replicações para o cenário 3	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição das ordens de transporte por empilhadeiras	48
Gráfico 2 – Distribuição nos blocos de destinos no armazém.....	50
Gráfico 3 – Porcentagem de transporte para os blocos de destinos nos dias 13, 33 e 44	55
Gráfico 4 – Empilhadeiras utilizadas no dia de operação 20	72
Gráfico 5 – Aumento das <i>chamadas de transporte por empilhadeiras</i>	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPU – *Central Processing Unit*

FIFO – *First In First Out*

GUI – *Grafical User Interface*

LIFO – *Last In First Out*

MSCS – Modelagem e Simulação Computacional de Sistemas

PO – Pesquisa Operacional

SBA – Simulação Baseada em Agentes

SD – *System Dynamics*

SED – Simulação de Eventos Discretos

SKU – *Stock Keeping Unity*

SPRB – Sociedad Portuaria Regional Barranquilla

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	TEMA E PROBLEMATIZAÇÃO	13
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo Geral.....	15
1.2.2	Objetivos Específicos.....	15
1.3	JUSTIFICATIVA.....	16
1.4	MÉTODO DE PESQUISA.....	16
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
2	ARMAZENAGEM.....	19
2.1	CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ARMAZENAGEM	19
2.1.1	Tipos de armazenagem.....	21
2.2	OPERAÇÕES EM ARMAZÉNS	23
2.2.1	Manuseio de materiais em um armazém	25
3	MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE SISTEMAS.....	30
3.1	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE SISTEMAS	30
3.2	CLASSIFICAÇÃO DOS MSCS.....	33
3.3	SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS	35
3.3.1	Variáveis de estado	36
3.3.2	Eventos.....	36
3.3.3	Entidade e atributos	37
3.3.4	Recursos e Filas de recursos.....	37
3.3.5	Atividades e Período de espera	38
3.3.6	Tempo (Real) Simulado e Tempo de Simulação.....	39
3.4	SOFTWARE ARENA.....	39
3.4.1	Exemplos de aplicações do <i>software</i> Arena.....	41
4	ESTUDO DE CASO	43

4.1	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	43
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO EM ESTUDO	43
4.3	DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO	46
4.3.1	Coleta e tratamento de dados.....	47
4.4	MODELO PROPOSTO PARA SIMULAÇÃO.....	56
4.4.1	Lógica do Modelo A	56
4.4.2	Lógica do Modelo B.....	61
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	65
5.1	REPLICAÇÕES E VERIFICAÇÃO DOS MODELOS.....	65
5.2	CENÁRIO 1	67
5.2.1	Cenário 1.1.....	68
5.3	CENÁRIO 2.....	71
5.4	CENÁRIO 3.....	74
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
	REFERÊNCIAS.....	80
	APÊNDICE A1 - Modelo A no ambiente Arena.....	84
	APÊNDICE A2 - Modelo A no ambiente Arena com animação	85
	APÊNDICE B- Modelo B no ambiente Arena	86
	APÊNDICE C - Análise exploratória dos dados dos dias de operação em estudo	87
	APÊNDICE D - Número de empilhadeiras utilizadas nos dias de operação	88

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados alguns aspectos sobre o tema relacionado a este trabalho de conclusão de curso, incluindo os objetivos geral e específicos que norteiam o trabalho, além do problema em estudo, a justificativa e relevância tanto acadêmica, quanto econômica para elaboração deste trabalho. Por fim, apresenta-se sua estrutura física.

1.1 TEMA E PROBLEMATIZAÇÃO

Desde o início da Revolução Industrial, a complexidade dentro de organizações e um crescimento colossal destas organizações são verificados ao percorrer a linha temporal até o ponto atual. Contrastando as oficinas de artesões com as corporações multinacionais contemporâneas de alto valor agregado, pode-se citar como um dos impulsionadores desta evolução a divisão de trabalho e segmentação das responsabilidades. Entretanto surgiram novos desafios, como por exemplo, a dificuldade de alocar de maneira eficiente os recursos disponíveis para as diversas atividades em toda a organização empresarial (HILLIER e LIEBERMAN, 2013).

A competitividade empresarial é elevada no cenário econômico atual, tanto pela facilidade da comparação entre preços e acessibilidade a produtos em âmbito mundial, denominada livre concorrência, quanto à alta expectativa do cliente e a discrepância de interesses de cada cliente perante o produto. O modelo capitalista gerou um ambiente inconstante, de mudanças radicais, vivenciando “a era da incerteza” onde o gestor precisa estar preparado para tomar decisões inesperadas que alteram o andamento da organização empresarial (ANDREUZZA, 2008).

As organizações, em geral, mantêm algum tipo de operação, sendo seus objetivos a geração de serviços, produtos, ou ambos. O gerenciamento das operações pode ser estruturado em três níveis: a rede de suprimentos, a operação e o processo (SLACK *et al.*, 2013). Em segmentos de mercado com produtos já consolidados, o gerenciamento coerente e eficiente das operações é um dos requisitos para competitividade da organização, cada vez mais

necessário, conforme enfatiza Silva (2012), e assim, a eficiência logística se transformou em fator de sobrevivência estratégico das organizações empresariais na atualidade.

Ao se evidenciar estas problemáticas, meios para solucioná-las foram elaborados, dentre eles a Pesquisa Operacional (PO) foi desenvolvida e aplicada há algumas décadas como abordagem científica nas organizações, com seus primeiros relatos de utilização na Segunda Guerra Mundial (HILLIER e LIEBERMAN, 2013). A utilização de métodos da PO na promoção da eficiência e eficácia organizacional em todos os níveis da gestão é uma realidade tornada viável nestas últimas décadas pelo microcomputador e pelo avanço do estado da arte da PO (GOLDBARG e LUNA, 2005). Entre 1909 e 1917, o matemático A. K. Erlang, aplicou teoria de probabilidade para resolver problemas de filas em linhas telefônicas, surgindo assim um novo ramo da PO, a Teoria das Filas, que Slack *et al.* (2013) definem como sendo a modelagem matemática de processos estocásticos que atendem a clientes/produtos através de operações de serviço/atendimento, podendo assim analisar gargalos através das filas e seu comportamento.

O método de simulação se desenvolveu, e Camelo *et al.* (2010) comenta sobre o poder de análise deste instrumento, citando como objetivos a determinação e quantificação dos efeitos gerados por mudanças em dado sistema modelado, sendo um método pertinente em situações de difícil e/ou custoso experimento em situações reais. Dessa forma, a simulação evoluiu (simulação orientada a eventos) e possibilitou tratar os mesmo problemas que a Teoria das Filas. Este trabalho pretende através da Simulação de Eventos Discretos, analisar e propor cenários de planejamento e melhoria para um dos setores de armazenagem de produtos transportados por empilhadeiras, utilizando para isso o *software* Arena 14.07 versão estudantil.

Os sistemas de armazenagem podem ser fragmentados em duas funções principais: guarda de produtos (estocagem) e manuseio de materiais. Aprofundando o tema manuseio de materiais, tem-se as três atividades principais: carga e descarga, movimento para e da estocagem e, atendimento dos pedidos (BALLOU, 2006). A atividade de movimentação para e de estocagem pode ocorrer diversas vezes e de diferentes formas, conforme *layout* e tipo de negócio, e é a esta atividade, de logística interna que se dará o enfoque deste estudo.

A empresa em estudo neste trabalho se caracteriza por ser de grande porte, atuando no ramo da linha branca (eletrodomésticos), em Joinville, Santa Catarina. O estudo de caso tem como foco a análise da capacidade de empilhadeiras no transporte de produtos acabados de uma das fábricas, compreendendo desde o pedido do transporte dos produtos acabados,

seus processos e operações de manuseio, até a armazenagem do produto no local designado para estoque, para fins de futuras movimentações de transporte.

1.2 OBJETIVOS

Para analisar a problemática da capacidade das empilhadeiras no processo de armazenagem propõe-se neste trabalho os seguintes objetivos.

1.2.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo da taxa de utilização de empilhadeiras na distribuição e transporte de produtos acabados de um armazém, em uma multinacional do ramo da linha branca, levando em consideração diferentes cenários.

1.2.2 Objetivos Específicos

No intuito de se alcançar o objetivo geral deste trabalho, propõe-se os seguintes objetivos específicos:

- Estudar sobre capacidade produtiva, simulação utilizando o *software* Arena e processo de armazenagem;
- Compreender o funcionamento da célula de distribuição em análise;
- Elaborar o esboço das operações (modelo conceitual) realizadas na célula fabril em estudo;
- Realizar o levantamento e coleta de dados necessários para estruturação do modelo;
- Propor e verificar a validade de dois modelos de simulação baseado em eventos discretos utilizando o *software* Arena nos dias de maior demanda;
- Simular cenários para diferentes taxas de movimentação de produtos na célula de armazenagem, e respectivos impactos na utilização das empilhadeiras;
- Simular cenário com diferente *layout* dos destinos de armazenagem dos produtos, a fim de analisar o ganho em capacidade das empilhadeiras.
- Realizar as avaliações dos resultados obtidos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Por vezes, no cenário empresarial, a complexidade existente em processos dificulta análises acuradas apenas através de análises de dados e indicadores. Dependendo do objetivo da análise, a teoria das filas e a simulação podem ser ferramentas muito úteis. Conforme Ferreira Filho (2005) relata, é muito relevante estudar as filas em processos, pois mesmo não sendo tão evidente, embutido nelas existe um problema econômico e este surge porque em qualquer fila existem dois custos envolvidos: custo da fila e o custo do serviço.

O custo da fila está relacionado ao tempo de espera e o prejuízo que isto acarreta ao processo. O custo do serviço se relaciona com o custo de implementar e manter o processo em operação. Taha (2008) afirma que na modelagem destes problemas tem-se por objetivo minimizar a soma destes custos. Segundo Hillier e Lieberman (2013) estes modelos permitem encontrar o equilíbrio adequado entre o tempo de espera e o custo do serviço.

As empresas devem atentar à melhoria contínua, pois o descuido com seus processos e serviços podem acarretar em inúmeros prejuízos que vão muito além da perda da venda do produto, como por exemplo, a vinculação negativa à marca e a perda da fidelidade do cliente (CUNHA *et al.*, 2013). Para evitar custos operacionais excessivos e a manutenção de inventários com a finalidade de atender aos pedidos dos clientes com qualidade, Álvarez (2010) cita que os armazéns devem ser dimensionados de maneira eficiente.

Este trabalho justifica-se economicamente por analisar a capacidade de recursos (empilhadeiras) de uma célula de armazenagem industrial, e propor mudanças para manter o setor em processo de melhoria contínua em seus procedimentos. Justifica-se academicamente por utilizar recursos e conceitos de simulação de eventos discretos (*software* Arena) e armazenagem para analisar os procedimentos de uma célula de armazém real, sendo a simulação de processos um mecanismo de auxílio ainda pouco explorado em âmbito nacional tanto empresarial quanto acadêmico, contribuindo para a formação do autor, além de gerar uma contribuição para o acervo bibliográfico relacionado ao tema de estudo.

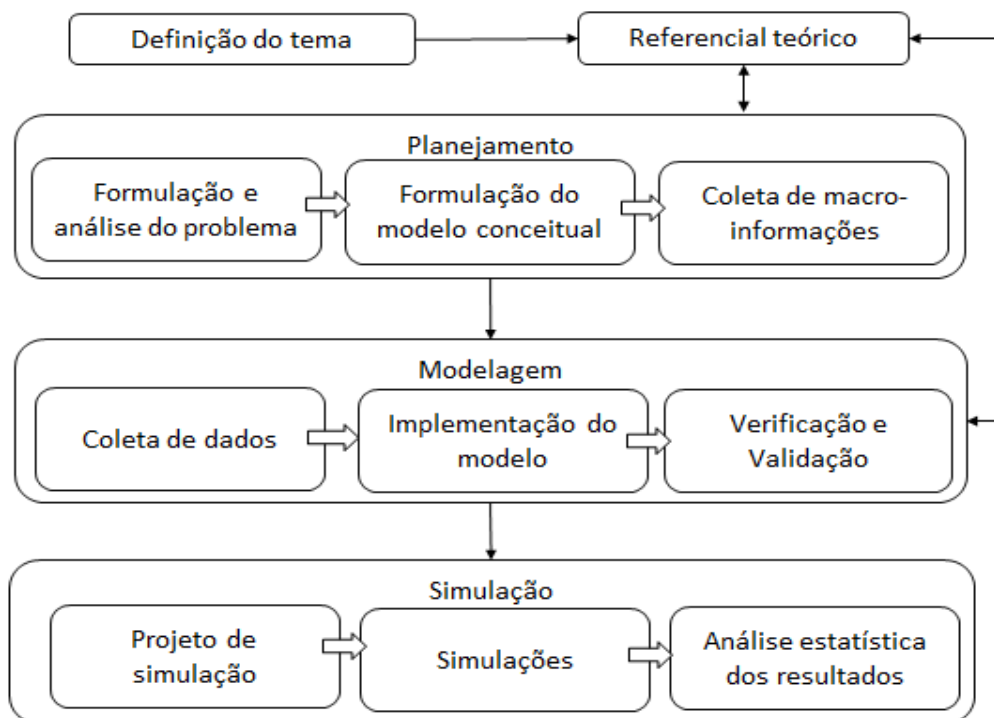
1.4 MÉTODO DE PESQUISA

Este estudo tem caráter descritivo, caracterizando-se como estudo de caso. Partindo da definição do tema, buscou-se o referencial teórico e a compreensão e modelagem do objeto de estudo. Como base para o referencial teórico, realizou-se buscas de livros na Biblioteca

Setorial de Joinville contida na UFSC, Portal de Periódicos da Capes e Repositório institucional da UFSC. O foco dos livros escolhidos na Biblioteca Setorial de Joinville tinha como tema: simulação, gerenciamento de processos e operações, *software* Arena e PO. Nas buscas realizadas através do Portal de Periódicos da Capes, sem restrições, utilizou-se os termos “*software* Arena”, “Teoria das Filas”, “estoque”, “Simulação de Eventos Discretos” e “armazém”, utilizando o operador AND e intercalando os termos, selecionando os 50 artigos e teses relevantes ao tema, sendo o mais antigo datado do ano de 2002.

O método de pesquisa empregado neste estudo se baseia em etapas de planejamento, modelagem e simulação. Na etapa de planejamento, após visita em campo onde se conheceu o local e foram explicados os processos que ali ocorriam se formulou um modelo conceitual e a coleta de macro-informações. Com o modelo conceitual já elaborado, os dados necessários para a modelagem futura foram solicitados à empresa, realizando assim a coleta de dados com enfoque em tempos operacionais. A implementação do modelo foi realizada através da modelagem no *software* Arena 14.07 versão estudantil, realizando os ajustes do modelo conceitual para sua verificação. Por último, realizou-se a simulação de cenários e alteração dos recursos para análise dos resultados. As etapas de pesquisa realizadas neste trabalho estão ilustradas pela Figura 1.

Figura 1– Etapas de pesquisa



Fonte: Adaptado de Freitas Filho (2008).

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos contabilizando com este, de caráter introdutório. Os capítulos dois e três tratam-se do referencial teórico, abordando temas sobre armazéns e seus procedimentos, manuseio de materiais, movimentação por empilhadeiras, sobre a simulação de sistemas, mais especificamente sobre o procedimento de simulação utilizando Simulação de Eventos Discretos (SED). O quarto capítulo apresenta o estudo de caso, considerando a distribuição por empilhadeiras dos produtos acabados. No quinto capítulo é realizada a análise dos resultados obtidos e, por fim, no sexto capítulo apresentam-se as considerações finais do trabalho e as recomendações a trabalhos futuros.

2 ARMAZENAGEM

Neste capítulo serão apresentadas as características que fundamentam a armazenagem, iniciando por conceitos básicos de armazenagem e operações. Em seguida, são abordados os conceitos de manuseio de materiais, e por fim, manuseio por empilhadeiras. Espera-se ao final deste capítulo obter conhecimento sobre esse tema, para melhor compreensão das operações contidas no estudo de caso.

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ARMAZENAGEM

Segundo Ballou (2006) a armazenagem já recebeu o termo de “transporte a zero quilômetro por hora”, sendo parte integrante da cadeia de suprimentos e ocorrendo primeiramente nos pontos nodais desta cadeia. Como a demanda por produtos não é conhecida com exatidão e os produtos não podem ser produzidos instantaneamente se faz necessário a utilização de armazéns, estimando-se que as atividades de armazenagem consumam até 20% dos custos de distribuição física da empresa (BALLOU, 2006).

Conforme descrito no Novo Dicionário Aurélio (2009) uma das definições de armazenar refere-se a depósito provisório de mercadorias em um armazém, colocar em depósito, conservar. Em contraponto, outra definição é interessante, a de estocar, descrita pelo mesmo autor como colocar no estoque, formar estoque de mercadorias. A função armazenar pode ser interpretada como a guarda e preservação do material, enquanto a função estocar é referente a disponibilidade do material (BRITO JUNIOR; SPEJORIM, 2012).

Gerentes de operação comumente preocupam-se em relação à armazenagem, pois sendo custosa, compromete capital de giro, e, também arriscado armazenar produtos, já que os itens guardados podem se deteriorar, ocasionar perdas e tornarem-se obsoletos. Outro fator é a grande ocupação do espaço, entretanto têm-se os aspectos de segurança contra a demanda inesperada. Embora a armazenagem contenha custos e desvantagens associadas a sua manutenção, ela assegura a regularidade do suprimento e a demanda, só existindo pelo desequilíbrio existente entre suprimento e demanda (SLACK *et al.*, 2013).

O porquê de armazenar está relacionado à necessidade do cliente. Por exemplo, sob o ponto de vista da prestação de serviços logísticos de armazenagem, tem-se a finalidade de gerenciar eficazmente o espaço tridimensional destinado à guarda de mercadorias. Armazenando de forma segura e adequada, sempre em busca da movimentação rápida e facilitada, com técnicas compatíveis às características da mercadoria, preservando a integridade física do produto e entregando-a no destino dentro do prazo planejado (RODRIGUES, 2003).

Em geral, conforme Bowersox e Closs (2011) a armazenagem aparece na cadeia de suprimentos como o depósito de matéria prima, peças, produtos semiacabados ou produtos acabados. Os atributos de controle para armazenar materiais podem ser o volume, peso, coeficiente de variação das vendas, giro, custo adicionado e nível de serviço exigido. Estes formatos se associam aos diferentes tipos de operação no processo de transformação, por exemplo, a matéria-prima passa por operações de suprimento e produção, os produtos acabados por operações de produção e distribuição e as peças de reposição por operações de suprimento e produção (WANKE, 2011).

Ballou (2006) considera quatro razões básicas para que se use um espaço com a finalidade de armazenar produtos:

- **Redução dos Custos de Transporte/Produção:** os custos envolvendo a armazenagem e o estoque são despesas adicionais no processo, entretanto podem compensar por tornar tanto o transporte quanto a produções mais eficientes.
- **Coordenação da Oferta e Demanda:** empresas com produção altamente sazonal e demanda geralmente estável apresentam grandes problemas nesta área. Por exemplo, o ramo de alimentícios e enlatados com grande sazonalidade de produção, ou empresas do ramo de *commodities* por sofrerem grande variação no preço do produto.
- **Necessidade de Produção:** a armazenagem pode fazer parte do processo de produção, como por exemplo da cerveja, vinho e queijos, sendo produtos que necessitam de um tempo de maturação.
- **Considerações de Mercado:** a armazenagem pode ser utilizada para agregar valor ao produto. O tempo de entrega pode ser reduzido ou a disponibilidade facilitada dependendo da estratégia adotada da armazenagem.

Complementando, Bowersox e Closs (2011) descreve que as vantagens da armazenagem estratégica são de natureza econômica como consolidação de cargas distintas, *break bulk* e *cross dock*, processamento e postergação do processo do produto como a rotulação do mesmo produto e embalagem para distintos clientes e também a formação de estoque. Outras vantagens são as que englobam o serviço, citando algumas delas como estoque ocasional tanto para demanda sazonal como produção sazonal, sortimento de produtos, combinação de cargas de distintos fabricantes, apoio à produção e à manutenção da presença dos produtos no mercado.

2.1.1 Tipos de armazenagem

Os tipos de armazenagem, segundo Ackermam (1997), podem se distinguir em três, diferenciando-se pela extensão do controle do usuário, sendo: (i) o armazém próprio, (ii) o armazém geral e, por fim (iii) o armazém contratado ou dedicado. Muitas empresas utilizam combinações destes tipos de armazenagem. O armazém próprio é operado pela empresa em suas instalações, oferecendo controle total, sendo vantajoso com grandes volumes de armazenamento e manuseio constante, ou com controle rigoroso de higiene e segurança (BRITO JUNIOR; SPEJORIM, 2012).

A armazenagem geral se caracteriza por prestadores de serviços que atendem a diversas empresas, não possuindo a propriedade sobre a mercadoria, e normalmente, sendo independente das empresas que atende. Este tipo de armazenagem é indicado para empresas sem especialização em armazenagem ou com alta oscilação de demanda. A armazenagem contratada ou dedicada é a caracterizada pela combinação de armazenagem geral e própria, e neste caso, a empresa utiliza uma área exclusiva no armazém contratado para armazenagem de suas mercadorias, o utilizando também para serviços logísticos suplementares como o fracionamento do material, a formação de *kits*, embalagens ou ainda pequenas montagens (BRITO JUNIOR; SPEJORIM, 2012).

No momento do planejamento deve-se levar em conta as características da armazenagem, e tomar a decisão mais coerente na estratégia do tipo de armazenagem, também é pertinente ter conhecimento dos tipos de armazéns para a guarda adequada dos produtos. São apresentadas por Rodrigues (2003) algumas distinções e definições sobre estes tipos, que estão listadas na próxima página:

- **Almoxarifados:** depósitos próprios que estão relacionados à movimentação interna da empresa, destinando-se à guarda e controle de distintos insumos consumidos durante o processo de transformação.
- **Depósito (Armazéns):** áreas próprias, públicas ou contratadas a terceiros, podendo ou não ser alfandegadas, com a finalidade de estocagem, protegendo e guardando materiais acabados, para futuro consumo ou transformação, ou então para permitir a consolidação de lotes a serem despachados, por um período mais ou menos longo de tempo.
- **Centro de distribuição:** conforme a quantidade e diversidade de produtos consumidos aumenta, para a eficiência da distribuição das empresas a expedição se centraliza no que se denomina Centro de Distribuição, afastando fisicamente as atividades de armazenagem de produtos acabados das atividades de expedição e transporte para entrega ao cliente.
- **Armazém:** construção fabricada em metal, madeira, alvenaria ou concreto armado, coberto por telhas e fechado por todos os lados, contendo portas de acesso mercadorias, maquinário de movimentação e pessoas, apresentando distintas características de construção conforme as suas diferentes finalidades de guarda de produtos.
- **Galpão:** construção rudimentar coberta, geralmente localizada entre armazéns, servido de apoio de suprimentos em momentos adversos como congestionamentos, lotação ou quebra de maquinário de movimentação, ou ainda para guarda de ferramentas.
- **Pátio:** área pavimentada e descoberta, com zonas de empilhamento de movimentação horizontal e de transporte.
- **Silo:** construção de metal ou concreto armado, de maneira vertical ou horizontal, com finalidade de armazenar cereais, rações animais ou fertilizantes.
- **Tanque:** construção de metal, contendo sistemas de segurança para aquecimento e resfriamento, bombeamento e sucção, dutos, balanças de fluxo contínuo. Tem a finalidade de armazenar granéis líquidos diversos.
- **Inflamáveis:** suprem um crescimento repentino na demanda por áreas de armazenagem em ocasiões de falta de espaço.

O estudo de caso abordado neste trabalho adequa-se conforme os tipos de armazenagem, como armazenagem própria, pois o armazém em estudo é de posse da empresa e conta com mão de obra especializada para fins de guarda de produtos acabados. Do ponto de vista de tipo de armazém, se enquadra em depósito/armazém, de estruturas metálicas e alvenaria, coberto e fechado, a fim de depositar os produtos acabados e consolidar a carga para posterior transporte.

2.2 OPERAÇÕES EM ARMAZÉNS

Rodrigues (2003) expõe, baseando-se no *Material Handling Institute* (EUA), e em alterações realizada pelo instituto de Gerenciamento da Logística e Cadeia de Suprimentos (IMAM), alguns princípios básicos da operação de armazenagem, que estão demonstradas de forma resumida no Quadro 1.

Quadro 1 - Princípios das operações de um armazém

Planejamento	Análise da implementação de processos de armazenagem antes da aceitação de um determinado lote a armazenar, levando em consideração as condições físicas e técnicas.
Flexibilidade Operacional	Capacidade de adaptação das praças, corredores, portas e equipamentos de manuseio em uma área de armazenagem, recebendo da melhor maneira, simultânea ou sucessivamente os produtos com diferentes processos de manuseio.
Simplificação do Fluxo	Alteração e/ou implementação do arranjo físico, com objetivo de simplificar ao máximo os fluxos do processo de manuseio, de forma a obter maior produtividade possível, eliminando os gargalos.
Integração	Junção do maior número de atividades possíveis simultaneamente, reduzindo assim o número de movimentação, coordenando todas as operações.
Otimização do espaço físico	Objetivo de movimentar de maneira adequada a maior quantidade possível de mercadorias em uma única área de armazenagem.
Otimização de equipamentos de mão de obra	Análise, desenvolvimento, padronização, sistematização e implantação de procedimentos direcionados ao dimensionamento e à racionalização dos equipamentos de movimentação e equipes.
Verticalização	Utilizar se conveniente, os espaços verticais da melhor maneira possível.
Mecanização	Análise da implementação e custo-benefício da mecanização dos procedimentos de movimentação de mercadorias.

Automação	Avaliação quanto a validade e relação custo-benefício de automatizar o gerenciamento da armazenagem, sistema de controle e manuseio.
Controle	Planejamento, inserção e acompanhamento adequado de um sistema de registros dos recebimentos, tempo de permanência da armazenagem, entrega e controle do inventário físico de mercadorias, com a finalidade de identificar e organizar as mercadorias coerentemente.
Segurança	Utilização de sistemas que garantam a integridade física das mercadorias armazenadas, adequação e manutenção das instalações e equipamentos, mantendo equipes de trabalhos devidamente treinadas para eventuais emergências.
Preço	Preços justos calculados a partir da estrutura de custos resultante das atividades da armazenagem, levando em conta a estratégia empresarial.

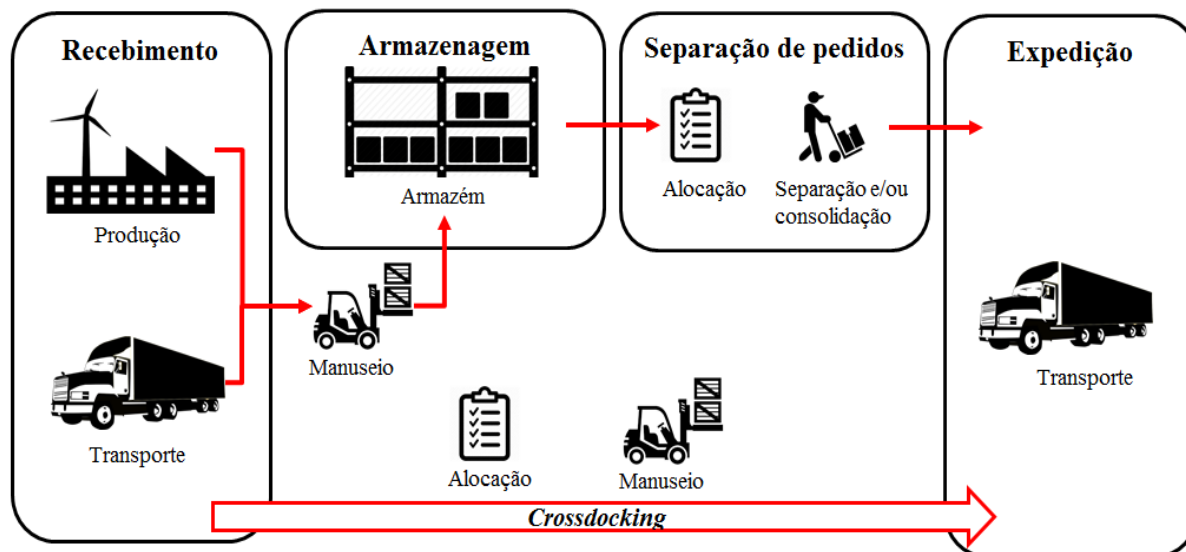
Fonte: Adaptado de Rodrigues (2003).

No que tange a operação em um armazém, tem-se o *recebimento*, *armazenagem*, *separação de pedidos* e *expedição*, em alguns casos, *pequenas montagens*, assim como ilustrados na Figura 2. Esclarecendo os procedimentos da Figura 2 (próxima página), tem-se o *recebimento* que é ocasionado tanto pela própria produção da fábrica, contendo assim um armazém próprio na planta próximo à produção (sendo o caso deste estudo), como de outras fábricas, para posterior consolidação e entrega. O *crossdocking*, sendo o cruzamento inteligente de cargas que chegam de diversas fábricas com destino a diversos clientes, sem necessidade de armazenagens de médio a longo prazo, não será tratado no estudo de caso, apenas aparecendo como complemento de atividade que pode ocorrer dentro de um armazém.

O *manuseio* está presente entre todas as etapas, evidenciando assim sua importância. Após a *armazenagem* nos locais adequados e planejados, é necessária a *separação dos pedidos*, assim alocando as cargas em lotes, destinos e transportes. Com os pedidos alocados, segue-se com a *separação e/ou consolidação* destes produtos e por fim se executa a *expedição*, ou seja, o despacho e envio até o cliente final.

Este estudo de caso limita-se às operações de *recebimento* e *armazenagem* com enfoque no manuseio dos produtos acabados. Brito Junior e Spejorim (2012) afirmam que o conceito de fluxo contínuo de materiais necessita de coordenação, assim maximizando a eficiência no manuseio e armazenagem de materiais.

Figura 2 - Fluxo de operações em um armazém de produtos acabados



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

O fluxo contínuo pode ser interpretado neste trabalho como fluidez do material através das operações em um armazém. Fluir no sentido de circular, correr, sem barreiras e interrupções, e em contraponto o material não pode ser manuseado em demasia, correndo maiores riscos de danos e avarias. Assim, a determinação de um *layout* adequado é fundamental para tais conceitos.

2.2.1 Manuseio de materiais em um armazém

A economia de escala justifica a movimentação de grandes quantidades de carga, assim é possível verificar que a unitização (aglomerar carga, criando lotes) utilizando paletes, contêineres e caixas para o manuseio de materiais é empregada com frequência nas operações de armazenagem (BRITO JUNIOR; SPEJORIM, 2012). O *layout* do espaço também impacta nas despesas gerais de manuseio dos materiais e produtos movimentados dentro deste espaço de armazenagem, existindo considerações relativas ao espaço de estocagem a serem considerados no projeto interno do armazém (BALLOU, 2006). Conforme Bowersox e Closs (2011) existem diferenças entre o manuseio de carga a granel e embalada: cargas a granel não necessitam de embalagens para proteção, entretanto necessitam de equipamento especiais para descarga, neste estudo o foco se dará a carga embalada.

Uma nomenclatura utilizada as unidades de armazenagem em estoque é o SKU (*Stock Keeping Unity*), e conforme sua grandeza existem diversas maneiras de acomodar a

mercadoria no armazém, sendo a utilização do palete a mais comum forma de apoio ao manuseio. Produtos pequenos podem ser armazenados em caixas e os maiores muitas vezes são considerados como um único SKU, sem o apoio de outra estrutura para armazenagem. Os SKU's podem ser armazenados de forma empilhada, colocados em estruturas de armazenagem como prateleiras, dependendo sempre do tipo de mercadoria que está sendo manuseada (RUSHTON *et al.*, 2010).

O manuseio interno engloba toda e qualquer movimentação nos armazéns, existindo pelo menos, duas a três transferências dentro de depósitos tradicionais. Primeiramente as mercadorias são levadas para dentro do depósito e, este transporte é feito por empilhadeiras quando são usados paletes ou *slip sheet* (plataforma inferior para movimentação). Uma segunda movimentação pode ser necessária, antecedendo a separação de pedidos, dependendo da organização operacional do depósito. A transferência para a área de separação de pedidos ocorre conforme o processamento dos pedidos. A segunda movimentação pode ser suprimida caso a mercadoria possua elevado peso e/ou volume, por exemplo, fogões e máquinas de lavar (BOWERSOX; CLOSS, 2011).

Recentemente, têm sido relevantes algumas diretrizes para auxiliar a administração no projeto de sistemas para manuseio de materiais e Bowersox e Closs (2011) descrevem algumas destas, conforme dispostas no Quadro 2.

Quadro 2 - Diretrizes para projeto de sistemas para manuseio de materiais

1. Os equipamentos de manuseio e armazenagem necessitam ser os mais padronizados possíveis.
2. O sistema deve ser projetado para proporcionar o fluxo de produtos da maneira mais contínuo possível.
3. Os investimentos devem ser feitos em equipamentos de manuseio, de preferência a equipamentos estáticos (como prateleiras e estantes).
4. Os equipamentos de manuseio de materiais devem ser usados o mais intensamente possível.
5. Os equipamentos de manuseio a serem escolhidos devem ter a menor relação possível entre peso e carga útil.
6. Sempre que possível, a força da gravidade deve ser aproveitada em projetos de sistemas de manuseio.

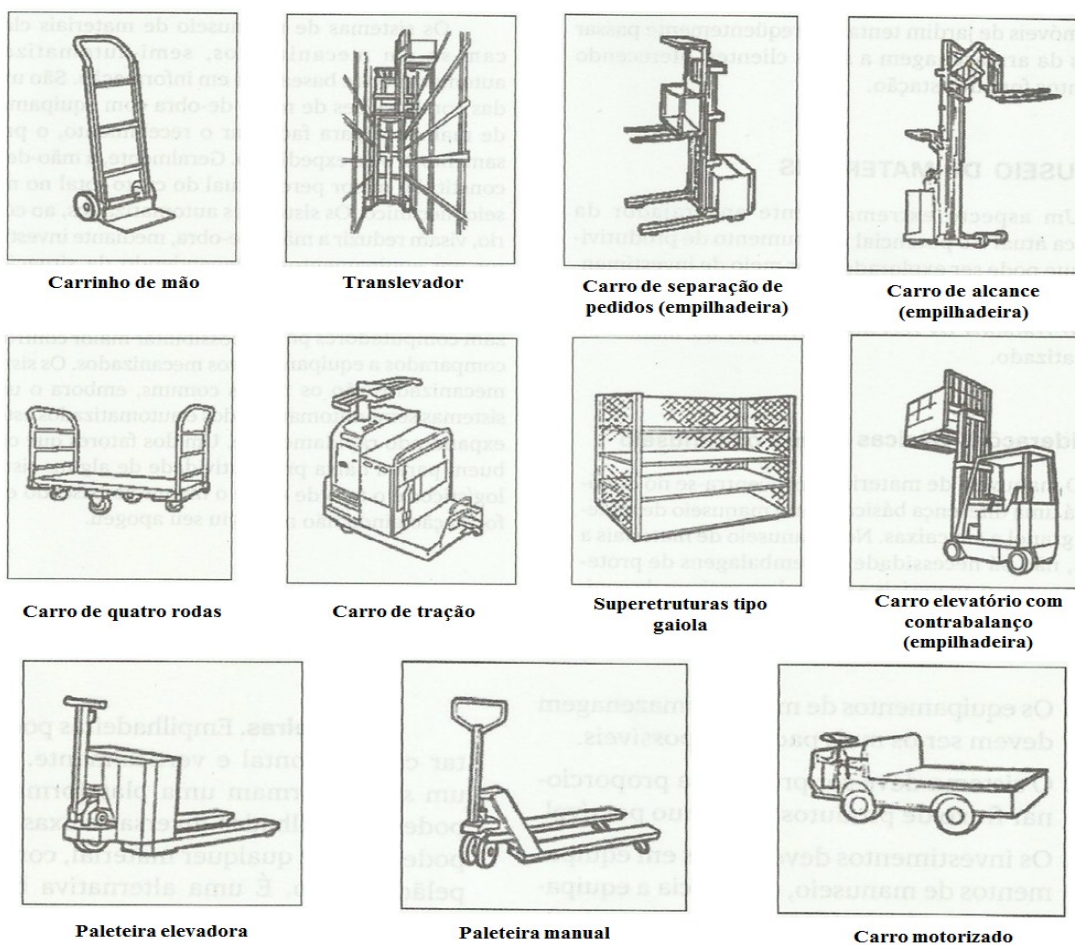
Fonte: Bowersox e Closs (2011).

Os sistemas de manuseio de materiais classificam-se em mecanizados, semi-automatizados, automatizados e baseados em informação. Geralmente o maior custo nos sistemas mecanizados está na mão de obra, ao contrário dos automatizados, que investem em

equipamentos para diminuir a mão de obra. Sistemas de manuseio baseados em informação utilizam o apoio de computadores para possibilitar maior controle. O foco deste estudo está nos sistemas mecanizados, sendo os equipamentos mais comuns empilhadeiras, paleteiras, cabos de reboque, veículos de reboque, esteiras transportadoras e carrosséis (BOWERSOX; CLOSS, 2011). A Figura 3 demonstra alguns destes equipamentos.

Para este trabalho é relevante considerar o carrinho de mão, o carro elevatório com contrabalanço (empilhadeira) e as esteiras transportadoras. Carrinho de mão contém duas rodas podendo ser feito de madeira maciça e aço, integralmente de aço e em liga de alumínio e magnésio, com capacidade de até 1000 kg, podendo ser conseguidos com formas especiais. Carro elevatório com contrabalanço (empilhadeira) pode trabalhar com bateria ou com gás liquefeito de petróleo, ou ainda com motor a óleo diesel, existindo modelos de três a quatro rodas com pneus normais. As esteiras transportadoras são largamente usadas em operações de recebimento e expedição (BOWERSOX; CLOSS, 2011).

Figura 3 - Exemplos de equipamentos mecanizados de manuseio



Fonte: Adaptado de Bowersox e Closs (2011).

Para fins de estudos neste trabalho serão considerados apenas os equipamentos: carrinho de mão, carro elevatório com contrabalanço (empilhadeira) e as esteiras transportadoras, os quais representam o cenário de estudo, mas apenas a empilhadeira será inserida no modelo de simulação.

2.2.1.1 Manuseio por empilhadeiras

Empilhadeiras transportam comumente duas cargas unitizadas por vez. Não apenas transportando paletes ou *slip sheet* separadas, podem transportar caixas (como é o caso deste estudo), dependendo da natureza do produto. Os tipos de empilhadeiras podem ser definidos como de longo alcance, com movimentação vertical de 13 metros, versões com garras laterais e empilhadeiras trilaterais, com capacidade de operar em corredores estreito a partir de 1,4 metros. Tem-se dado maior ênfase em empilhadeiras que operem em corredores mais estreitos para maior densidade de prateleiras. As empilhadeiras não são tão eficientes em movimentação horizontal extensa, sua eficiência está no recebimento e expedição, utilizando na maioria dos casos o gás propano e a eletricidade como energia motriz (BOWERSOX; CLOSS, 2011).

A Figura 4 demonstra empilhadeira similar à encontrada no estudo de caso, que utiliza garras específicas para pega de diferentes lotes de mercadorias, assim possibilitando a pega de lotes de um, dois, três, seis, doze produtos, dependendo da necessidade.

Figura 4 – Exemplo de empilhadeira



Fonte: SAUR (2017).

As operações com empilhadeiras estão utilizando novas formas de tecnologia de comunicação, com a finalidade do aumento da produtividade. A transferência de dados por rádio frequência é utilizada para acelerar a armazenagem e solicitar o transporte de cargas por operadores de empilhadeiras em operações de armazenagem, sendo esta tecnologia utilizada no estudo de caso. Esta tecnologia permite comunicação em tempo real com as centrais de processamento de dados, combinada com leitura de código de barras contidas na carga, permitindo que os operadores de empilhadeiras capturem, atualizem e exerçam instruções sobre a movimentação e ajustes no estoque (BOWERSOX; CLOSS, 2011).

2.2.1.2 Manuseio por esteiras transportadoras

Esteiras transportadoras são equipamentos básicos de muitos sistemas de separação de pedidos e são caracterizadas de acordo com o tipo de acionamento (energia ou gravidade) e o tipo de movimento (roletes ou correias). Em sistemas movidos por energia as esteiras transportadoras têm uma corrente que passa por cima ou por baixo delas, restringindo a flexibilidade do sistema. Sistemas operados utilizando a gravidade, com roletes ou correias, permitem modificações com pouca dificuldade, alguns destes sistemas portáteis são utilizados em depósitos para carga e descarga, sendo levados em carretas para auxílio na descarga em seu destino de entrega (BOWERSOX; CLOSS, 2011).

Ainda, conforme Bowersox e Closs (2011), pode-se utilizar sistemas semi-automatizados, dentre eles a separação, normalmente utilizada em combinação com esteiras transportadoras. Os produtos são separados no depósito e colocados para saída na esteira transportadora. Para que este sistema funcione, as embalagens devem ter códigos com a possibilidade de leitura ótica.

3 MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE SISTEMAS

Neste capítulo serão apresentadas as características que fundamentam a Simulação de Eventos Discretos (SED), iniciando por conceitos de simulação e suas características. Em seguida, são abordados os conceitos e terminologia da SED, e por fim, são explanados o *software* Arena e exemplos de aplicações. Espera-se ao final deste capítulo ter compreensão sobre esse tema, possibilitando o entendimento da modelagem e simulação do estudo de caso.

3.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE SISTEMAS

O surgimento do computador na década de 50 possibilitou a modelagem de filas em processos e sua análise pela abordagem da simulação, não de forma analítica, mas imitando o comportamento real do sistema. Na década de 60 as linguagens de simulação apareceram, e se desenvolveram devido aos microcomputadores. As técnicas de simulação visual apareceram na década de 80, sendo muito bem difundida pela sua maior facilidade de comunicação e compreensão. Atualmente, o ensino desta técnica ainda se concentra em escolas de graduação, mas já surgem em alguns cursos de segundo grau (cursos técnicos), sendo algumas linguagens mundialmente conhecidas, como por exemplo, GPSS, GASP, SIMSCRIPT, SIMAN, ARENA, PROMODEL, CINEMA, AUTOMOD e TAYLOR (PRADO, 2014).

A Simulação é definida no dicionário Aurélio (FERREIRA, 1999, p. 1857) como sendo “[...] 5. *Experiência ou ensaio realizado com o auxílio de modelos [v. modelo (18)], eps. de modelos computacionais, relativos a processos ou objetos concretos que não podem ser submetidos a experimentação direta*”. Outra definição bem aceita descreve que “simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital” (PRADO, 2004, p.24).

Law e Kelton (1991) descrevem modelos computacionais como uma representação simplificada da realidade, através dos quais se procura representar e analisar comportamentos de elementos da realidade que sejam os mais importantes para a decisão a ser tomada. A

experimentação de um modelo através da simulação quando comparado com a prática real, permite a um custo reduzido, maior segurança e rapidez na análise de uma dada situação.

Os estudos de modelagem de sistemas na engenharia podem envolver modificações de *layout*, ampliação de fábricas, substituição de equipamentos, reengenharia, automatização, dimensionamento de uma fábrica, dentre outros. Os resultados, na grande maioria, são similares aos constatados na prática, sem a necessidade de gastar recursos monetários e temporais (FREITAS FILHO, 2008). Assim, a modelagem de filas em processos pode ser analisada através de uma simulação, em que, não se usam mais equações matemáticas (abordagem por Teoria das Filas), mas busca-se imitar o funcionamento do sistema real através de recursos computacionais (PRADO, 2014). É necessário deixar claro, de início, que os modelos simulados nem sempre conseguem representar as situações reais com grande precisão (BRUNS; SONCIM; SINAY, 2001). A modelagem deve ser coerente com a realidade em estudo e os dados representarem de maneira adequada o processo, caso contrário os resultados não serão satisfatórios.

Na maioria dos processos o desenvolvimento de equações matemáticas torna-se um processo muito complexo e oneroso, e a sua resolução pode ser muito trabalhosa e pouco flexível, sendo que a simulação permite também o estudo de sistemas ainda não existentes, auxiliando o desenvolvimento de projetos antes que qualquer mudança física tenha sido implementada (FREITAS FILHO, 2008). Diversos autores (ANDRADE, 2015; HARRISON *et al.*, 2007; FREITAS, 2008; PRADO, 2014; STERMAN, 2000) apontam as vantagens e desvantagens em relação à Modelagem e Simulação Computacional de Sistemas (MSCS). O Quadro 3 apresenta a síntese destes apontamentos.

Quadro 3 – Comparação entre vantagens e desvantagens referente à MSCS

Vantagens	Desvantagens
A simulação possibilita o estudo e a experimentação de complexas interações internas de um dado sistema, seja uma empresa ou parte de uma empresa.	Os resultados da modelagem podem ser incoerentes com a realidade ou afetados por problemas dos próprios sistemas usados e pela interpretação da linguagem matemática, e o fato dos resultados não poderem ser generalizado para todas as condições.
A simulação permite estudar diversas variações no ambiente, verificando o impacto destas variações em todo o sistema.	
O tempo pode ser controlado, acelerando e desacelerando as interações no sistema.	A construção de modelos requer treinamento especializado. Dois modelos construídos por indivíduos diferentes, competentes na área de simulação, serão semelhantes, mas raramente iguais.
A simulação geralmente é mais fácil de aplicar comparada a métodos analíticos.	

A experiência adquirida em construir os modelos e realizar a simulação pode levar a uma melhor compreensão do sistema, possibilitando melhorá-lo, identificar "gargalos" e verificar as variáveis mais importantes no sistema.	Os resultados da simulação são, por vezes, de difícil interpretação. O modelo tenta captar a variabilidade do sistema, sendo comum que exista a dificuldade em determinar quando uma observação realizada durante a execução provém de alguma realização significativa dentro do sistema, ou devido a algum processo aleatório proveniente da construção do modelo.
O método de análise utilizado pela simulação permite a análise de um sistema proposto, mesmo que seus dados de entrada sejam especulativos, ainda no formato de "esquemas" ou esboços.	
Se o sistema em estudo não existe e tem-se pouco conhecimento sobre ele, por exemplo, quando se estuda a implantação de uma nova fábrica, a simulação possibilita, teoricamente, alguma preparação e previsão de eventos futuros.	O processo de simulação consome, normalmente, muitos recursos temporais e necessitam de um alto nível de compreensão tanto do processo como da plataforma de simulação para retornar resultados satisfatórios. A tentativa de simplificação na modelagem ou no período de experimentação, para poupar recursos costuma resultar em análises pobres e insatisfatórias. Em muitos casos, a aplicação de métodos analíticos (como a Teoria das Filas) pode trazer resultados menos ricos e mais econômicos.
A possibilidade do emprego de animações, permitindo que se visualize o comportamento dos sistemas durante as simulações. Este recurso se torna bastante útil para explicar a simulação a um leigo, ou na própria modelagem, facilitando o entendimento e visualização de possíveis erros.	

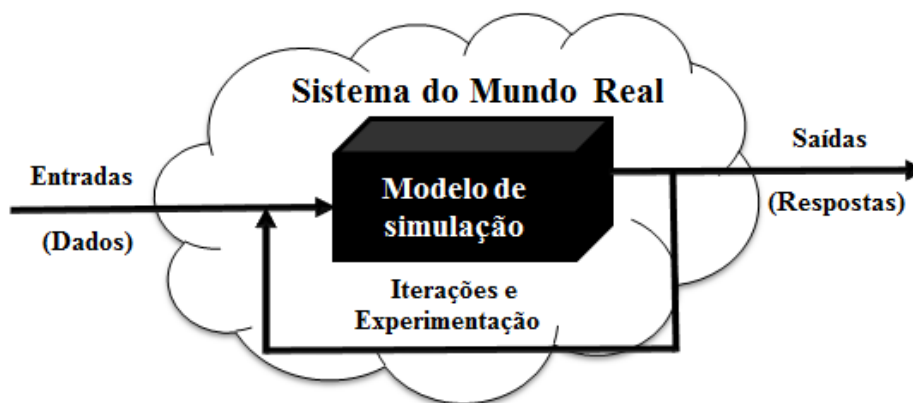
Fonte: adaptado de Andrade (2015); Harrison *et al.* (2007); Freitas (2008); Prado (2014); Sterman (2000).

No processo de simulação, o modelo é utilizado como canal da experimentação, muitas vezes por métodos empíricos de tentativa e erro, com intuito de demonstrar os efeitos de várias políticas operacionais e gerenciais (FREITAS FILHO, 2008). Ao se utilizar a experimentação através de um modelo desenvolvido em computador (modelo de simulação), o foco está em se analisar as respostas (saídas) para variações de políticas aplicadas às entradas (inseridas através de dados). Torna-se possível avaliar o que aconteceria se determinada ação (interações e experimentação) fosse tomada no sistema real. Desta maneira, é possível avaliar os diferentes resultados ao se variar os parâmetros, possibilitando a comparação entre cenários. Em relação às técnicas computacionais de modelagem comumente empregadas tem-se: otimização, métodos heurísticos, probabilísticos estáticos e simulações (SANCHES, 2009).

Dependendo da complexidade e do propósito da modelagem se escolhe a técnica de simulação adequada. Como o estudo de caso em análise neste trabalho possui dados com ampla variabilidade e complexidade, optou-se pela técnica da simulação para a continuidade

do estudo. A Figura 5, de maneira esquemática, demonstra a ideia do modelo e do processo de simulação, do tipo entrada-saída (caixa preta).

Figura 5 – Representação esquemática de um modelo de sistema



Fonte: Adaptado de Freitas Filho (2008).

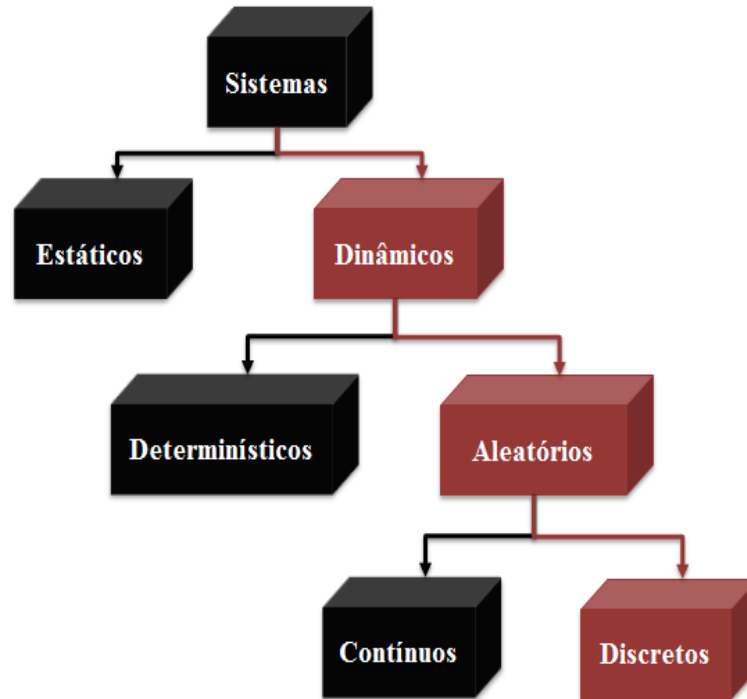
Um das características do modelo caixa preta é que não é necessário ter conhecimento sobre o funcionamento da modelagem matemática do sistema para usufruir dos resultados que ele proporciona. Na representação esquemática da Figura 5, tem-se o modelo de simulação que é uma simplificação do sistema do mundo real; neste modelo de simulação existem iterações e experimentações, onde são inseridos como entrada conjuntos de dados, sendo que este modelo de simulação retornará outro conjunto de dados como resposta (saídas) a estas iterações e experimentações atribuídas ao modelo de simulação a partir dos dados de entrada.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MSCS

Em relação ao tipo de sistemas modelados em simulação, Freitas Filho (2008) apresenta uma classificação de três níveis, sendo elas: estáticos ou dinâmicos, determinísticos ou aleatórios e contínuos ou discretos (Figura 6). O modelo a ser proposto deste estudo será modelado como sendo um sistema dinâmico, aleatório e discreto, conforme destacado em vermelho na Figura 6. Dinâmico devido às variáveis de estado que os representam sofrerem mudanças na medida em que o tempo de simulação avança, diferente do estático que descreve o mesmo comportamento ao longo do tempo (CHAO, 2001). Não é determinístico e sim aleatório, devido aos estados das variáveis poderem ser descritos por funções probabilísticas,

mas não predeterminados (CASTRO NETO, 2006). E por fim, é classificado como discreto, pois as mudanças de estado ocorrem em pontos discretos no tempo e não de maneira contínua, (FREITAS FILHO, 2008).

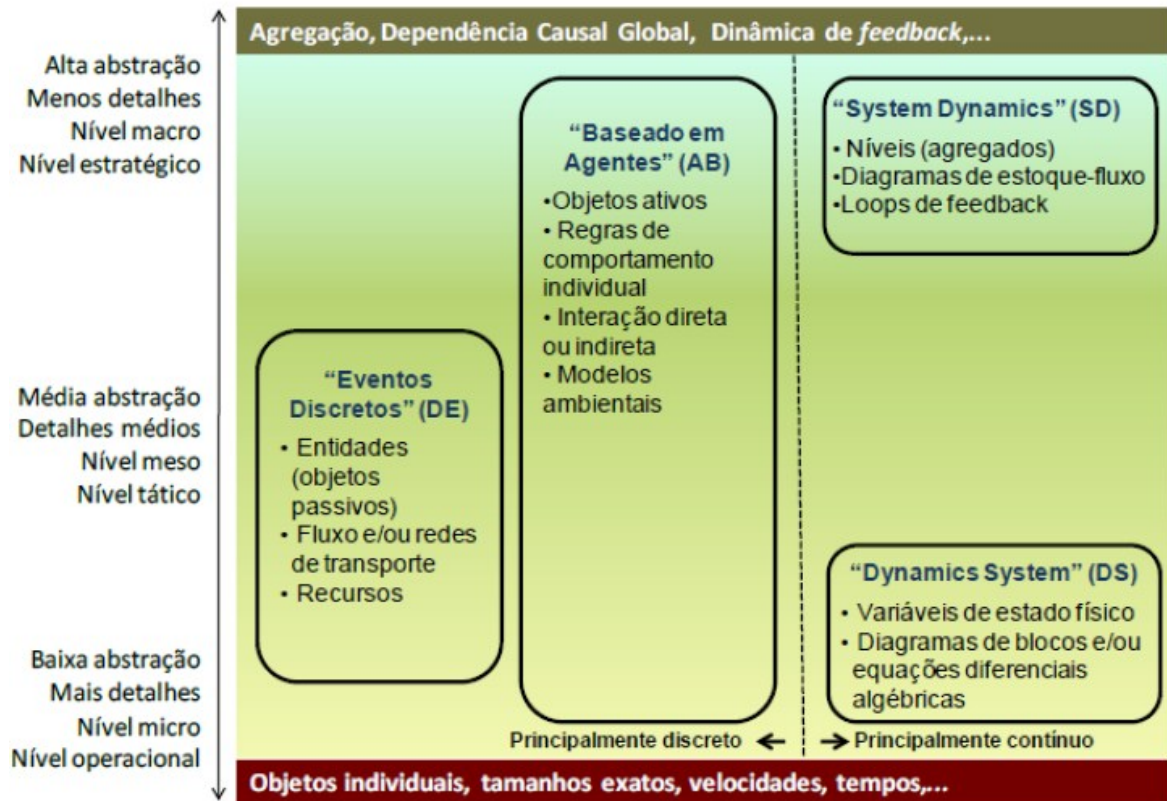
Figura 6 – Classificação dos sistemas para fins de modelagem



Fonte: Adaptado de Freitas Filho (2008).

Dentre os métodos de simulação (Figura 7), dependendo do nível e detalhamento do sistema pode-se definir o melhor método de simulação. Há o método “*System Dynamics*” (SD), que se utiliza de mapas de interligação que relacionam os eventos, fazendo com que ao longo do tempo os eventos se modifiquem, considerando sistemas contínuos e tendo potencial de simulação de cenários com alto nível de abstração como análise de mercado e competição, ecossistemas e dinâmica de populações. Outro método comumente empregado em análises é a “Simulação Baseada em Agentes” (SBA), onde a comunicação e interação entre diferentes agentes altera o ambiente, resultando em alterações do evento inicial, sendo utilizadas em todos os níveis de abstração. Há ainda a “Simulação de Eventos Discretos” (SED) que é utilizada em sistemas de médio nível de abstração e detalhes de dados, como por exemplo, problemas de transporte, cadeia de suprimentos, gestão de resíduos, micro-modelos de tráfego, chão de fábrica e armazéns (BORSHCHEV; FILLIPPOV, 2004).

Figura 7 – Abordagens de MSCS conforme o nível de abstração



Fonte: Borshchev e Fillippov (2004).

Neste estudo a abordagem utilizada será a SED, por se tratar de um problema envolvendo recursos e fluxo de transporte em um armazém.

3.3 SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

Em SED, tratam-se estudos com enfoque em recursos, controle e atividades (MORECROFT; ROBINSON, 2005). Nesta abordagem a mudança no estado do sistema pode ocorrer de maneira repentina e instantânea, as variáveis de estado mantêm um comportamento constante e se alteram em pontos bem definidos denominados tempo de ocorrência do evento. Ao abordar o comportamento de filas, por exemplo, a SED busca determinar indicadores de desempenho como tempo médio de espera e tamanho médio da fila, ocupação de recursos, entre outros e, em um sistema de filas, no qual o estado do sistema é o número de clientes no sistema, os eventos discretos que mudam esse estado são a chegada e saída de clientes no processo de prestação do serviço. Entre os *softwares* de simulação que refletem este método, destacam-se alguns, através de uma interface gráfica e da conexão de blocos lógicos

facilitando o desenvolvimento e a compreensão da modelagem, possibilitando animações em 2D e 3D. Pode-se citar os mais utilizados como o software AnyLogic (*AnyLogic Company*), FlexSim (*FlexSim Software Products*), ProModel (*ProModel Corporation*) e o Arena (*Rockwell Automation*).

Algumas terminologias são necessárias para compreensão da MSCS (direcionada a SED), e assim, termos usualmente empregados propostos por Freitas Filho (2008), estão listados e devidamente explicados nos tópicos a seguir.

3.3.1 Variáveis de estado

Em MSCS, variáveis que através de seus valores determinam o estado de um sistema são denominadas “variáveis de estado”, para um dado instante em uma simulação. Só é possível compreender o que está ocorrendo no sistema se conhece-se os valores das variáveis de estado, sendo necessários para compreensão dos eventos em determinado instante de tempo, relativo aos objetos em estudo.

A determinação dessas variáveis é o foco fundamental para o estudo do sistema. Por exemplo, a determinação em uma fábrica, do número de peças aguardando para serem processadas em uma determinada máquina (fila da máquina), ou ainda o estado da máquina: ocupado ou desocupado. Outro exemplo, em um banco, a determinação do número de clientes na fila aguardando atendimento do caixa. Na computação, um exemplo é o número de tarefas aguardando na fila da *Central Processing Unit* (CPU), ou o número de tarefas já atendidas.

3.3.2 Eventos

Eventos são os fatos, acontecimentos, programados ou não, que, ao surgirem, promovem mudanças de estado em um sistema. Toda mudança de estado provém de um evento. Ao surgir um evento, pelo menos uma variável de estado será alterada. Exemplos como as chegadas de peças, de clientes ou de tarefas são definidas como eventos, assim como um início de processamento por uma máquina, caixa de banco ou pela CPU, também se tem como exemplo a saída de peças, clientes ou tarefas dos sistemas, respectivamente.

3.3.3 Entidade e atributos

Em MSCS a entidade representa um objeto com definição e funções claras no sistema, tendo duas classificações: dinâmica ou estática. Uma entidade dinâmica move-se através do sistema, por exemplo, peças (que se movem pela fábrica), os clientes chegando e saindo da fila do caixa no supermercado. As entidades estáticas servem a outras entidades, por exemplo, a máquina que transforma as peças ou a CPU que atende aos processos.

Os elementos que definem totalmente as entidades são denominados atributos. Entidades semelhantes possuem atributos iguais, os valores destes atributos é que se diferenciam. Na modelagem, por exemplo, peças (entidades) que são processadas em máquinas diferentes podem receber atributos como o nome, tipo de peça ou código, de maneira diferente, assim o resultado do processo terá em sua resposta estas distinções.

Dependendo do tipo de análise da investigação, certos atributos são mais relevantes, por exemplo, em um processo que se deseja investigar o tempo médio no sistema de todas as peças que o transitam, outros atributos não são relevantes, como tipo, código ou número da peça. O uso de atributos não apenas é útil para caracterizar e individualizar entidades, mas também pode ser utilizado para obter estatísticas importantes que enriquecem a análise da investigação.

3.3.4 Recursos e Filas de recursos

Um recurso é definido como uma entidade estática que presta serviço às entidades dinâmicas, sendo que um recurso pode servir a uma ou mais entidades ao mesmo tempo, operando como servidor paralelo. No sistema, é possível que uma entidade dinâmica seja processada por mais de uma unidade de recursos ao mesmo tempo ou com recursos diferentes simultaneamente. Se uma entidade dinâmica não puder ser atendida pelo recurso solicitado, ela o aguardará, formando filas.

Existem distintos comportamentos de filas neste processo de espera, e devem ser verificadas e aplicadas como representação do sistema real no modelo. A disciplina de filas mais comum é a FIFO (sigla em inglês para *First In, First Out*), onde a primeira entidade da fila é a primeira a ser atendida, existindo também o comportamento LIFO (sigla em inglês para *Last In, First Out*), aleatório e com prioridade (ANDRADE, 2015). Não existindo disponibilidade na fila, a entidade poderá ser dimensionada a capturar outro recurso, ou outra

fila, ou até mesmo sair do sistema. Se utilizar o recurso, a entidade dinâmica o ocupará por um determinado tempo (chamado tempo de processamento ou de serviço), o deixando desocupado após este intervalo. Alguns dos estados mais comuns aos recursos são o ocupado ou livre, bloqueado, falhado, indisponível, entre outros.

3.3.5 Atividades e Período de espera

Na simulação uma atividade corresponde a um período predeterminado, pois ao ser iniciada, seu fim pode ser estabelecido (programado). Entretanto, a duração de uma atividade pode não ter estas características determinísticas, podendo adquirir valores provindos de funções matemáticas, valores aleatórios provenientes de distribuições de probabilidades, dependerem do estado do sistema ou ser fornecido da leitura de fontes e dados externos. Por exemplo, o tempo de atendimento de um cliente no supermercado pode ser modelado como um valor aleatório de acordo como uma distribuição normal hipotética, com média de 25 segundos e desvio padrão de 5 segundos, ou ser considerado como uma constante de 27 segundos, ou estar relacionado ao período de simulação, pela manhã o atendimento é mais lento que a tarde. Ainda pode oscilar entre o tipo de entidade, os mais idosos demoram mais que pessoas jovens ao serem atendidas, ou depender do recurso, o operador A atende em média, mais rápido que o operador B. O tempo de serviço pode depender do tamanho da fila também.

O período de espera é o tempo sobre o qual, se o modelo contiver variáveis aleatórias, não é possível ter controle. Depois de iniciado, não há como prever seu fim, por exemplo em eventos inesperados. Ao entrar na fila esperando o atendimento, a entidade terá um tempo de espera igual à soma dos tempos de processamento das entidades que se encontram na fila ou em atendimento. Se a disciplina da fila for FIFO e os tempos de atendimento determinísticos, o cálculo deste tempo de espera é previsível. Entretanto, com tempos aleatórios, só se pode estimá-los. Se outra forma de disciplina de filas for adotada, com atributo de prioridade, o evento inesperado como a chegada de uma entidade com maior prioridade, faz com que a previsibilidade se perca; sendo que toda mudança de estado (evento) inicia ou termina uma atividade e acarreta períodos de espera. Um exemplo de evento inesperado pode ser a quebra de uma máquina por tempo indeterminado.

3.3.6 Tempo (Real) Simulado e Tempo de Simulação

Na MSCS, um dos cuidados relevantes na modelagem diz respeito ao tempo (real do sistema) simulado e o tempo de simulação (tempo necessário a experimentação no computador), sendo que em muitos casos o tempo de simulação pode ser muito maior ao tempo simulado. Como exemplo tem-se uma rede de computadores modelada e em simulação, em que as unidades de tempo são os milissegundos. Nesta simulação o número de entidades em processo pode ser elevado (por exemplo: milhares de pacotes de dados sendo roteados); se simular este processo para 10 segundos de funcionamento, é provável que se utilize dezenas de minutos para representar este cenário.

Em outra perspectiva, tem-se como exemplo um complexo portuário. Os eventos ocorridos neste tipo de sistema podem ser contabilizados nas grandezas de dias, semanas ou até meses, por exemplo, o intervalo de chegada entre navios. Neste sentido, pode-se simular meses e anos das operações em alguns minutos de simulação, sendo que estas diferenças e sutilezas em relação à unidade de tempo devem ser consideradas com coerência nas simulações.

3.4 SOFTWARE ARENA

O *software* Arena surgiu da união de dois programas de sucesso, o SIMAN e CINEMA, ambos da empresa americana Systems Modeling. Prado (1999) descreve o SIMAN como uma linguagem de simulação, denominando o primeiro *software* de simulação computacional em 1983. O CINEMA foi o *software* pioneiro na animação de simulações em 1984. Estes *softwares* se desenvolveram, e em 1993, estes *softwares* se integraram, resultando no *software* Arena. A partir de 1998 a empresa Rockell Software incorporou a *System Modeling*.

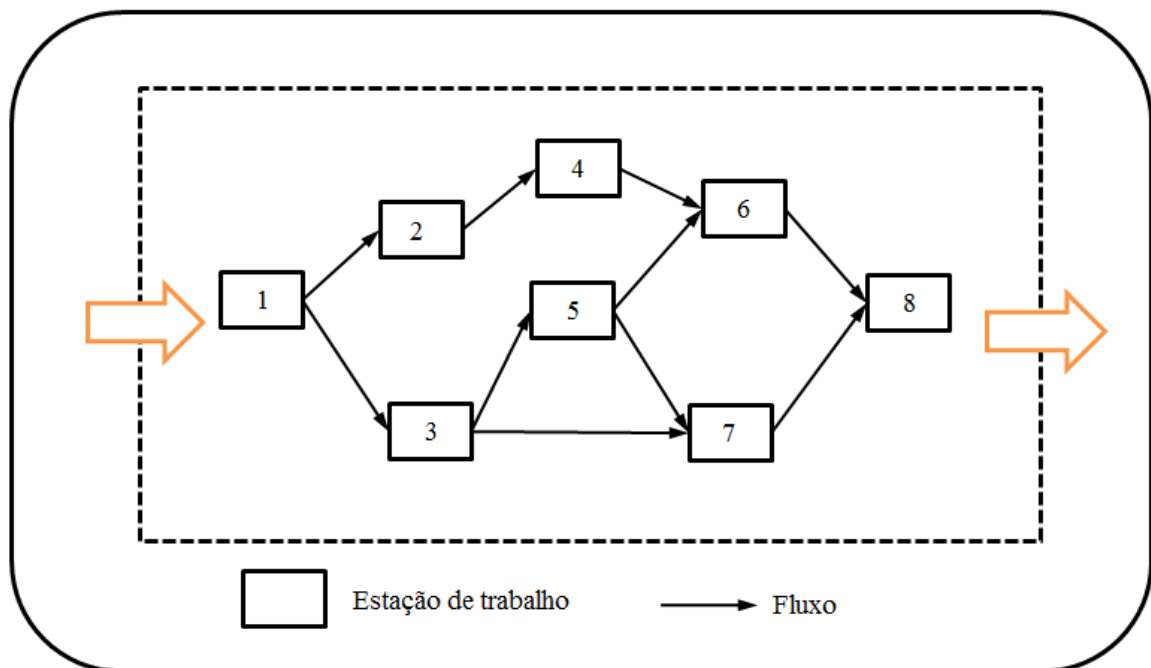
O *software* Arena utiliza-se de meios estatísticos para simular processos, a partir de um conjunto de blocos (ou módulos) lógicos e uma programação visual permite elaborar o modelo que descreve uma aplicação real, com possibilidade de criar animações. A modelagem é relativamente simplificada, pois é feita sem linhas de códigos, com uma interface gráfica (ou GUI – *Graphical User Interface*), lógica e interligada.

Há ferramentas muito úteis no *software*, como o analisador de dados de entrada denominado *Input Analyzer*, que permite definir a melhor distribuição probabilística para um

conjunto de dados, havendo também o analisador de resultados, o *Output Analyzer*, que permite a análise estatística da simulação, com análise gráfica e importantes comparações estatísticas. O *software* Arena visualiza o sistema a ser modelado como uma construção de **estações de trabalho** onde existem um ou mais **recursos** que prestam serviço aos **clientes** (normalmente denominados como entidades ou transações), que percorrem o sistema. O movimento pode ser feito pela própria entidade ou através de transportadores (empilhadeiras, por exemplo) ou correias (PRADO, 2014).

Assim, ao elaborar um modelo com o *software* Arena, inicialmente se constrói um desenho (fluxograma) representando o modelo do sistema (Figura 8) que se está representando, constituído de “estações de trabalho” (onde a entidade recebe algum atendimento/serviço) e “opções de fluxo” para a entidade entre as estações de trabalho. Estas opções de fluxo para a entidade serão tratadas pela lógica da programação do modelo. Por exemplo, em uma fábrica de geladeiras, a entidade é a geladeira que vai sendo montada ao percorrer as diferentes estações de trabalho. O fluxo dependerá do modelo de geladeira a ser fabricado (PRADO, 2014). Por exemplo, na Figura 8, pode-se seguir a opção de fluxo 1-2-4-6-8, representando uma sequência de processos em ordem topológica para o tipo de geladeira A, ou o fluxo 1-3-5-7-8, para o tipo B, e assim por diante, dependendo das especificações e necessidades de transformação do produto.

Figura 8 – Representação esquemática de estações de trabalho e seus fluxos



Fonte: Adaptado de Prado (2014).

3.4.1 Exemplos de aplicações do *software* Arena

Alguns estudos podem ser citados utilizando o *software* Arena, como por exemplo a aplicação feita por Mayur *et al.* (2004) integrou dois pacotes de *software* comercializados, altamente especializados, CPLEX e Arena. Com o objetivo de demonstrar a mecânica de integrar dois pacotes de *software* de PO de uso comum, aplicaram o método em uma cadeia de fornecimento de amostra na área de inventários (logística), fornecendo também vantagens e desvantagens da abordagem.

Radulescu e Carp Ciocardia (2009) apresentam uma simulação do fluxo de informação e da cadeia de suprimentos de uma pequena e média empresa, utilizando o *software* de versão gratuita Arena 10. O artigo aborda a simulação da cadeia de suprimentos de uma empresa intermediária que fornece 4 produtos fabricados por 4 produtores diferentes para 2 beneficiários. Na modelagem, para os beneficiários foram utilizados blocos de chegada (entrada da informação no sistema) e blocos de saída (saída das informações do sistema). Para a empresa intermediária foram utilizados blocos de servidor e os 6 fluxos de produção foram definidos em blocos sequenciais. A simulação permitiu uma comparação estruturada de diferentes estratégias de planejamento e gerenciamento.

Em outro estudo, Pessanha, Rocha Filho e Melo (2011) aplicaram o *software* Arena na execução de serviços de um contrato de manutenção de instrumentação de uma empresa prestadora de serviços *onshore* e *offshore*. No estudo realizado por Pessanha, Rocha Filho e Melo (2011), as fases de um estudo de simulação foram utilizadas e encontrou-se indicativos de sobrecarga (gargalos) e, também, na substituição de recursos que viabilizaram a criação de cenários hipotéticos.

Gonzalez e Collante (2011) observaram o processo de carga e descarga de contêineres na Sociedad Portuaria Regional Barranquilla, através de dados históricos, definição de elementos do sistema tais como: entidades (caminhões), recursos (*straddle carrier*), estações (entrada, balança, pátio e saída), distâncias caminhões, além da estatística dos atrasos em cada um dos processos encontrados através do analisador de entrada do *software* Arena (*Input Analyzer*). Foram analisados quatro cenários diferentes em que a quantidade de *straddle carriers* que realizou a tarefa de carregar e descarregar foi modificada, alternando entre dois, três, quatro e cinco. Os resultados indicaram que a operação portuária com apenas dois recursos colapsa o sistema, com três atrasos inaceitáveis ocorrendo e com

cinco recursos ocorre uma redução nos momentos de atenção para 75%, tornando-se o cenário recomendado.

Mohsen, Sayyed e Saeed (2014) aplicaram a simulação para o tráfego de dois entroncamentos adjacentes durante as horas de pico em Jalan Universiti, na cidade de Skudai, Johor, na Malásia. O estudo foi conduzido com o objetivo de simular o tráfego na rede para entender e analisar seus entroncamentos, sendo proposto um modelo com semáforo para resolver o problema. Os resultados obtidos com o modelo melhorado revelaram que o tempo médio de espera no braço C (um dos locais mais críticos do sistema) diminuiu 67%. Além disso, o tempo médio de espera das filas em todo o sistema diminuiu 53%.

Lima, Gonçalves e Souza (2016) apresentam um estudo de caso de um desastre natural causado por inundações, com foco em atividades de logística humanitária, utilizando a simulação de eventos discretos em cenários de inundação ocorridos no Sul do Brasil. Na análise, utilizaram-se as atividades logísticas de aquisição e transporte para a modelagem do processo de entrega de itens de assistência de uma organização humanitária, com enfoque na minimização do tempo de resposta ao atendimento; assim, a simulação auxiliou à escolha do melhor esquema de entrega dos itens de assistência humanitária.

Levantados os pontos relevantes à fundamentação teórica deste estudo, o próximo capítulo apresenta o estudo de caso referente à análise da capacidade de empilhadeiras em uma célula de armazenagem de produtos acabados.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, são apresentadas as características da empresa onde se realizou o estudo de caso, a descrição e delimitação do estudo nesta empresa, e também os modelos de simulação computacional e a coleta de dados para o entendimento do estudo.

4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Neste estudo de caso considera-se e propõe-se a aplicação em um dos armazéns de uma multinacional de grande porte do ramo de eletrodomésticos (linha branca). A empresa em estudo, uma das maiores fabricantes do mundo no ramo, atua em diversos países, presente no mercado brasileiro desde 2000, atendendo em sua maioria, os mercados das Américas do Sul e Central. A instalação faz parte de uma das 70 plantas manufatureiras no mundo e trata-se da maior na América Latina, com movimentação média de mais de 250 mil produtos por mês em um armazém próprio, disposta em uma área que ultrapassa os 90 mil metros quadrados.

A empresa conta com armazéns próprios e alugados nas suas plantas. A estratégia de armazenagem utiliza ao mesmo tempo o armazém como depósito para consolidação dos produtos acabados, mas também funciona como centro de distribuição física, atendendo a demanda em grande parte do território nacional e alguns países vizinhos, assim como, realizando transferências para outros centros de distribuição próprios no Brasil e no exterior.

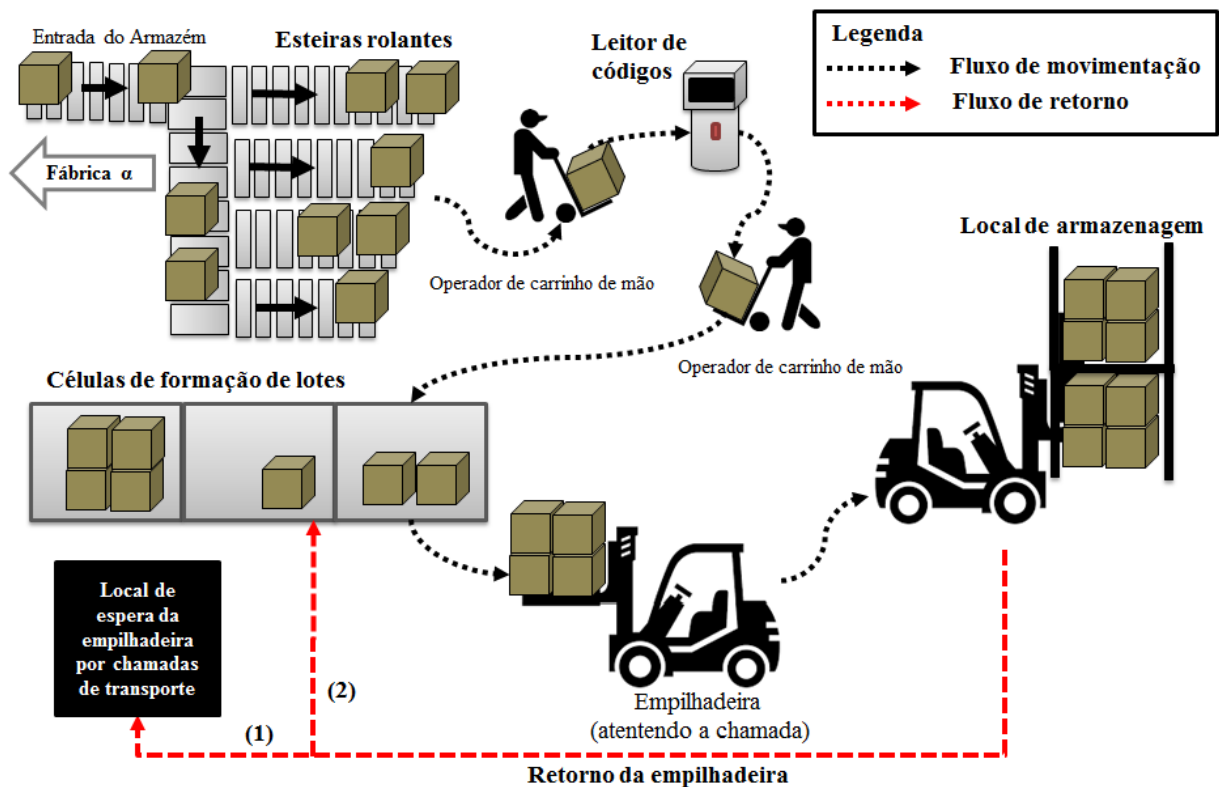
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO EM ESTUDO

Com a necessidade da empresa de um estudo que elucidasse a taxa de utilização da(s) empilhadeira(s) neste setor do armazém, iniciou-se o presente estudo. O cenário se limita na observação da captação de produtos de uma das fábricas (por convenção será denominada fábrica α), cujo fluxograma de operações é ilustrado pela Figura 9. No cenário em estudo os produtos acabados são transportados por esteiras transportadoras, saindo da fábrica α , ao chegar ao armazém, uma leve inclinação faz com que os produtos deslizem por

gravidade na *esteira rolante*. Os produtos são distribuídos em quatro outras *esteiras rolantes*, de maneira automatizada, assim facilitando o transporte feito pelos *operadores de carrinho de mão*.

Os *operadores de carrinho de mão* coletam o produto no final destas esteiras (que se inclinam até o nível do piso), então, é necessário realizar a leitura do código do produto através de um *leitor de códigos* (totem). Este totem retorna na tela a célula de destino do produto acabado em transporte. Estas células de destino para formação do lote (35 ao total) ficam próximas às esteiras e formam os lotes preestabelecidos (podendo ser lotes de números diferentes, de 1 a 12 produtos). Quando o *operador de carrinho de mão* lê o código de barras do último produto de um lote e se direciona às células de formação de lotes, um sinal de rádio frequência é enviado ao operador de *empilhadeira*, caso um lote já esteja completo, caracterizando assim uma *chamada de transporte por empilhadeiras*.

Figura 9 – Fluxograma dos processos de movimentação em estudo

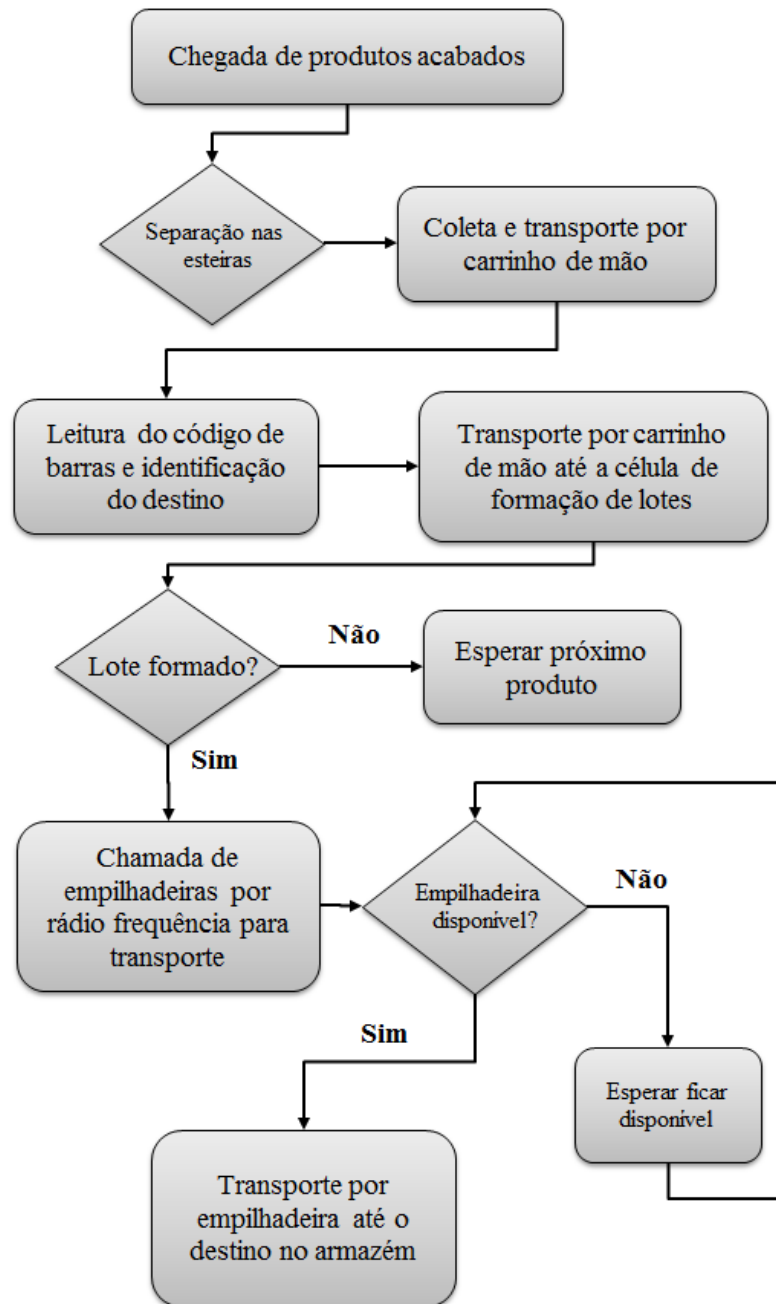


Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Caso a empilhadeira esteja livre para atender o chamado, o operador de *empilhadeira* a se desloca até as células de formação de lotes (estando livre, a *empilhadeira* normalmente permanece próxima às células de formação de lotes, representado pela célula em preto na

Figura 9). Caso a *empilhadeira* esteja executando o transporte, ela fará a operação e ao final retornará para atender a próxima *chamada de transporte por empilhadeiras* (representada pela bifurcação (2) na Figura 9). Caso não existam *chamadas* em espera, a *empilhadeira* retorna ao local de espera (bifurcação (1)). O fluxograma das atividades é melhor detalhado na Figura 10, complementando os procedimentos já descritos anteriormente.

Figura 10 – Fluxograma dos processos no sistema

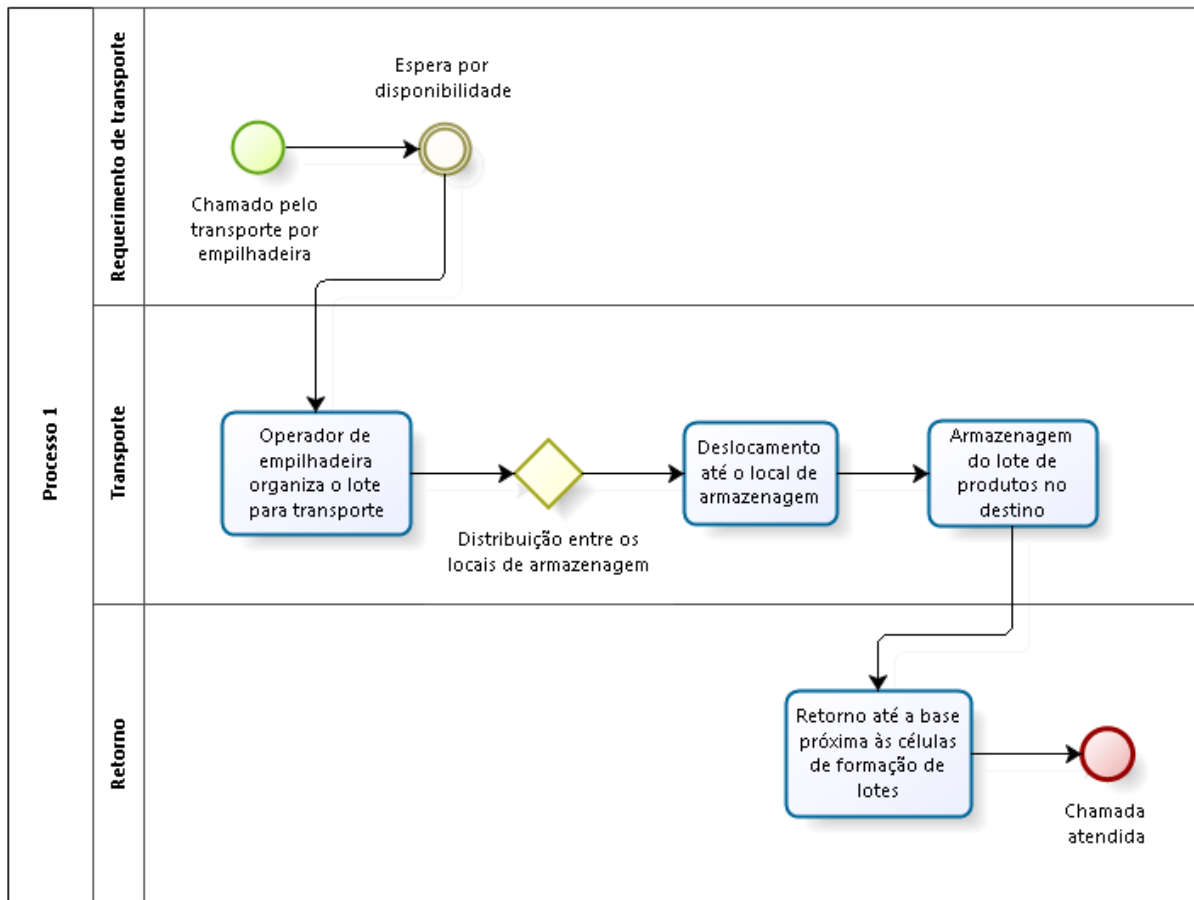


Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

4.3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Na análise do processo em estudo não foi possível desenvolver um modelo para todo o processo descrito devido à limitação de entidades em trânsito e número de blocos utilizados na simulação (maiores que 100) devido à utilização de uma versão acadêmica do *software* Arena. Assim, para a análise da capacidade das *empilhadeiras* se propôs dois modelos (Modelo A e B), com lógicas similares. O Modelo A possibilita analisar os processos de organização do lote para transporte, guarda do lote no armazém e o transporte por *empilhadeiras* separadamente, entretanto o número de empilhadeiras é fixo durante a simulação. O Modelo B não é capaz de analisar estes processos separadamente, mas sim como um único processo, entretanto, possibilita a variação do número de *empilhadeiras* utilizadas durante o dia de operação através de um cronograma. Os dois modelos se iniciam com as *chamadas de transporte por empilhadeiras* e têm sua lógica descrita na Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma da lógica de modelagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

As entidades tratadas na abordagem são as *chamada de transporte por empilhadeiras*, que são acionadas após formarem lotes de produtos via rádio frequência. Após a *chamada de transporte*, caso a *empilhadeira* esteja em uso, espera-se o seu retorno para o transporte; caso esteja livre, o *operador* a desloca do local de espera próximo às células de formação dos lotes. Ao chegar nestas células, o *operador de empilhadeira* precisa preparar o lote para o transporte, demandando um tempo para isto, dependendo do número (de 1 a 12 produtos) e tamanho dos produtos (pouca variação). O tamanho máximo do lote limita-se a dois produtos dispostos horizontalmente em largura e três em comprimento; no máximo com duas camadas de produtos, ou seja, um bloco com seis produtos sobre outro de seis produtos (ilustração representativa na Figura 12).

Figura 12 – Representação do lote máximo



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Após o lote estar organizado para o transporte, o *operador de empilhadeira* já provido com a informação de destino o desloca com a *empilhadeira* até o endereçamento. Ao chegar ao local de destino, o *operador de empilhadeira* deve armazenar a carga adequadamente, necessitando de um tempo para isto. Ao finalizar esta operação ele retorna à base próxima das células de formação de lote ou imediatamente inicia outro processo de transporte caso já exista uma nova *chamada*, assim concluindo o ciclo de atendimento à uma *chamada de transporte por empilhadeiras*. Este ciclo continua até o fim do dia de operação.

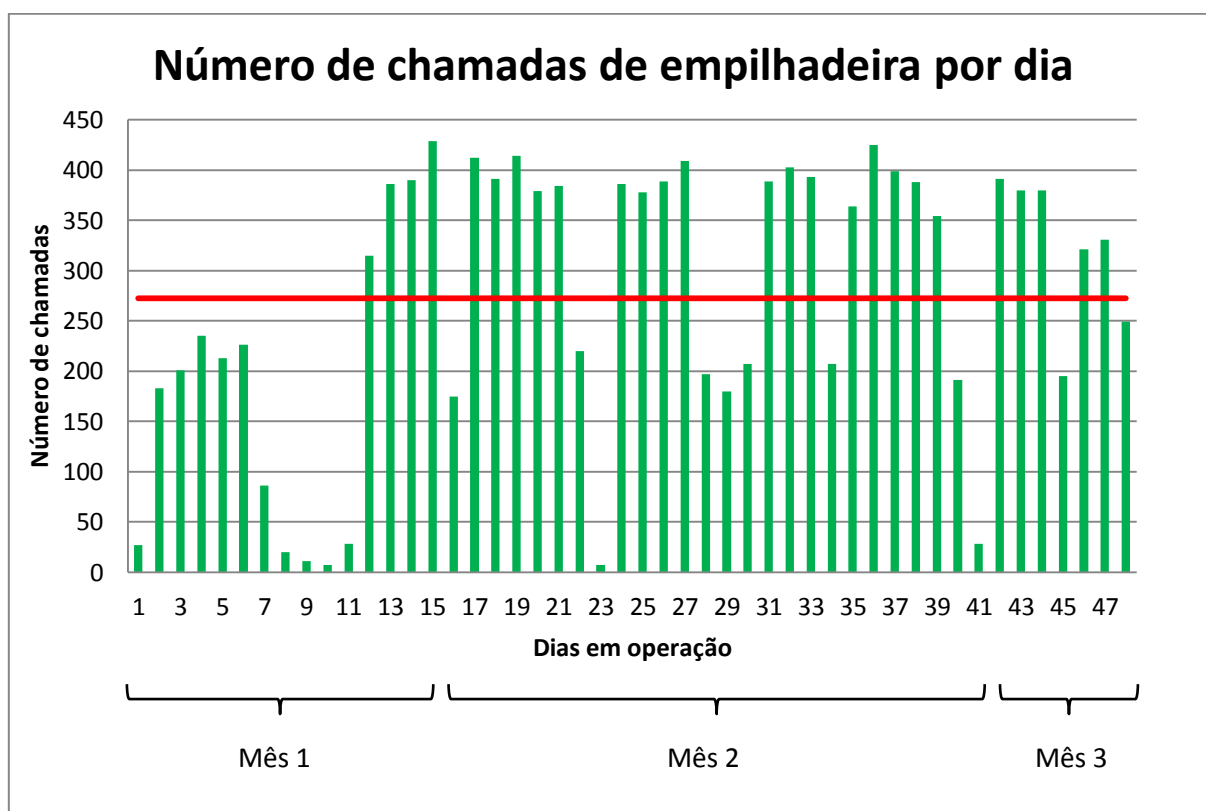
4.3.1 Coleta e tratamento de dados

A empresa em estudo forneceu dados muito pertinentes à análise. Em seu sistema de gestão, foi possível coletar informações referentes às operações via rádio frequência, sendo

fornechos dados históricos de um período de um pouco mais de dois meses (48 dias de operação, parte do mês 1, o mês 2 completo, e parte do mês 3). Dentre os dados fornecidos tem-se os da fábrica que provê o produto, célula onde o lote espera pelo o transporte, material (código do tipo de produto acabado), data de registro, hora de registro, quantidade de produtos que forma o lote a ser transportado, a posição no depósito para armazenagem do produto, o número da ordem de transporte e também o número que identifica o *operador de empilhadeira*. Também foram cedidos arquivos digitais em AutoCad® das plantas dos armazéns de destino, assim sendo possível a mensuração das distâncias para o transporte. Os dados apresentados, por questão de sigilo, foram multiplicados por um fator de ajuste.

A partir destes dados foi possível elaborar boa parte do modelo, sendo necessária a coleta manual de dados apenas para dois itens do modelo, sendo eles o tempo para organizar o lote na célula de formações de lotes e, o tempo para alocar o lote no ponto de destino do depósito. O Gráfico 1 ilustra a distribuição por *chamada de transporte por empilhadeiras* nos meses em estudo.

Gráfico 1 – Distribuição das ordens de transporte por empilhadeiras



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Em alguns dias esporádicos houve pouquíssimas chamadas, muitas vezes devido a diferentes *setups* (trocas de ordem de produção) ou dias com pouca carga horária de operação (por exemplo, nos dias 1, 23 e 41 era domingo, nos dias 7, 8, 9, 10, 11, 16, 28, 34 e 40 o período entre a primeira e a última chamada foi menor que 10 horas). A linha vermelha contida no Gráfico 1 representa a média de 272,35 *chamada de transporte por empilhadeiras* no período apresentado de operações.

Neste estudo propõe-se a análise de 3 cenários. O cenário 1, representa de maneira simplificada o que ocorre na empresa, em um dia de elevada movimentação em cada mês, demonstrando mais detalhadamente os resultados do dia de maior ocupação das *empilhadeiras*. O cenário 2 busca analisar o impacto de um possível aumento da demanda no setor de armazenagem escolhendo entre os dias de operação, um dia que represente melhor o comportamento do período em estudo no intuito de prever qual o momento mais propício da implementação de uma nova *empilhadeira*. O cenário 3 busca simular um entre os dias de operação que melhor represente o comportamento do período em estudo, entretanto não se altera a demanda, e a alteração é realizada nos endereços de destino no armazém, buscando diminuir o tempo de transporte, e assim, elevar a eficiência no *layout*.

Ao mapear todos os locais de endereçamento (chamados de BINs, totalizando 376 distintos) dos transportes efetuados no período em estudo, foi possível calcular a frequência de transporte até eles, e através da ferramenta “medir” do *software* AutoCad® e das plantas industriais fornecidas, quantificar as distâncias de deslocamento, como demonstra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados de determinação de porcentagem e distância para os destinos no depósito

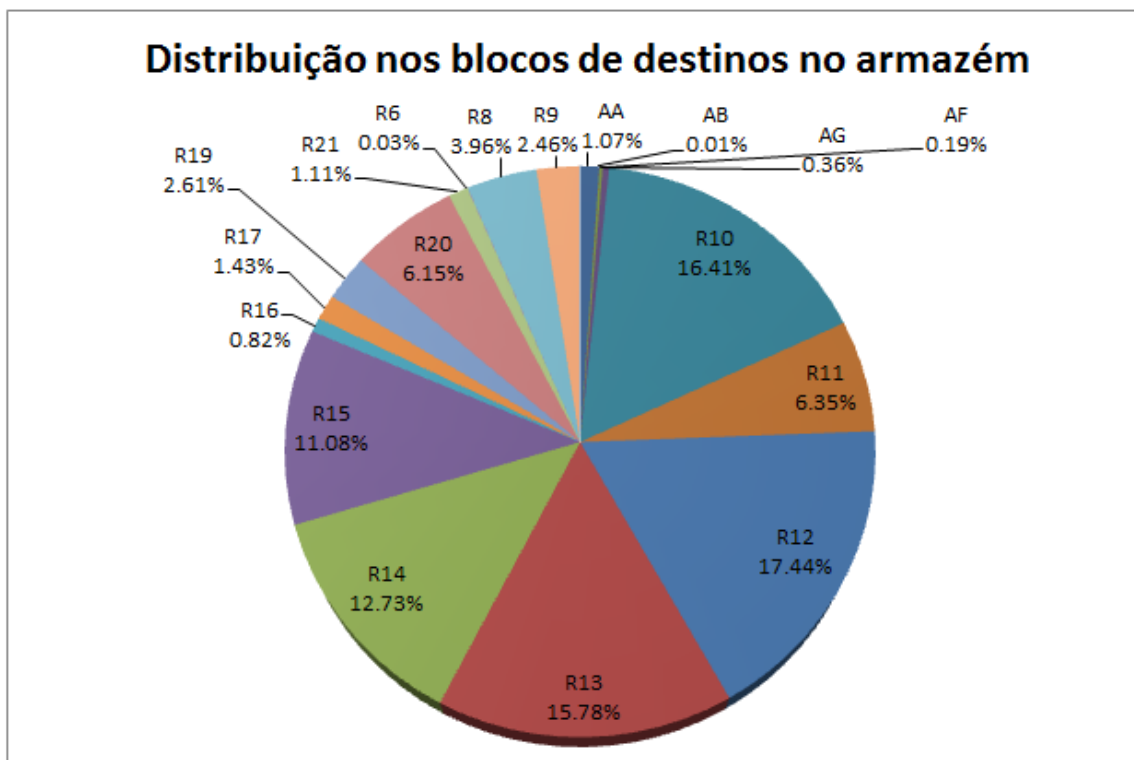
BIN	Número de chamadas totais	Porcentagens de chamadas em relação ao total	Porcentagem geral do bloco	Ida (m)	Volta (m)	Ida (m)	Volta (m)
AA-064	41	0,330%	1,071%	146,97	152	91,6	91,6
AA-086	1	0,008%		122,98	122		
AA-088	17	0,137%		120,5	120,5		
AA-101	1	0,008%		91,38	92,38		
AA-111	8	0,064%		78,92	78		
AA-112	2	0,016%		87,5	91,5		
AA-119	13	0,105%		70,55	70,55		
AA-127	1	0,008%		51,5	52,5		
AA-131	23	0,185%		47,41	51,3		
AA-138	1	0,008%		57,7	57,7		
AA-141	1	0,008%		40,3	40,3		
AA-143	24	0,193%		38,8	38,8		

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Para simplificação da modelagem, os destinos (BINs) foram agrupados em 18 blocos (que podem ser representados como corredores do armazém), por exemplo, na Tabela 1 está demonstrado o grupo AA, que representa uma porcentagem de destino de 1,071% (soma das porcentagens de chamada de cada BIN contido no bloco), com distância de 91,60 metros, sendo considerada a mesma distância de ida e retorno, tendo como base o deslocamento de ida. A distância entre as células de formação de lotes até o bloco foi calculada através de uma média ponderada, onde se multiplica a distância das células de formação de lotes até o local de destino no armazém pela porcentagem de envios em relação ao total de cada BIN. Assim, a soma destas multiplicações é dividida pela porcentagem total de envios ao bloco, resultando na distância de deslocamento até o mesmo.

A porcentagem de distribuição nos blocos de destino no armazém para todo o período de operação em estudo é demonstrada no Gráfico 2 (Utilizada nas simulações exploratórias do Apêndice C, para facilitar a comparação entre dias), sendo contabilizadas mais de 12.000 chamadas de transporte por empilhadeiras.

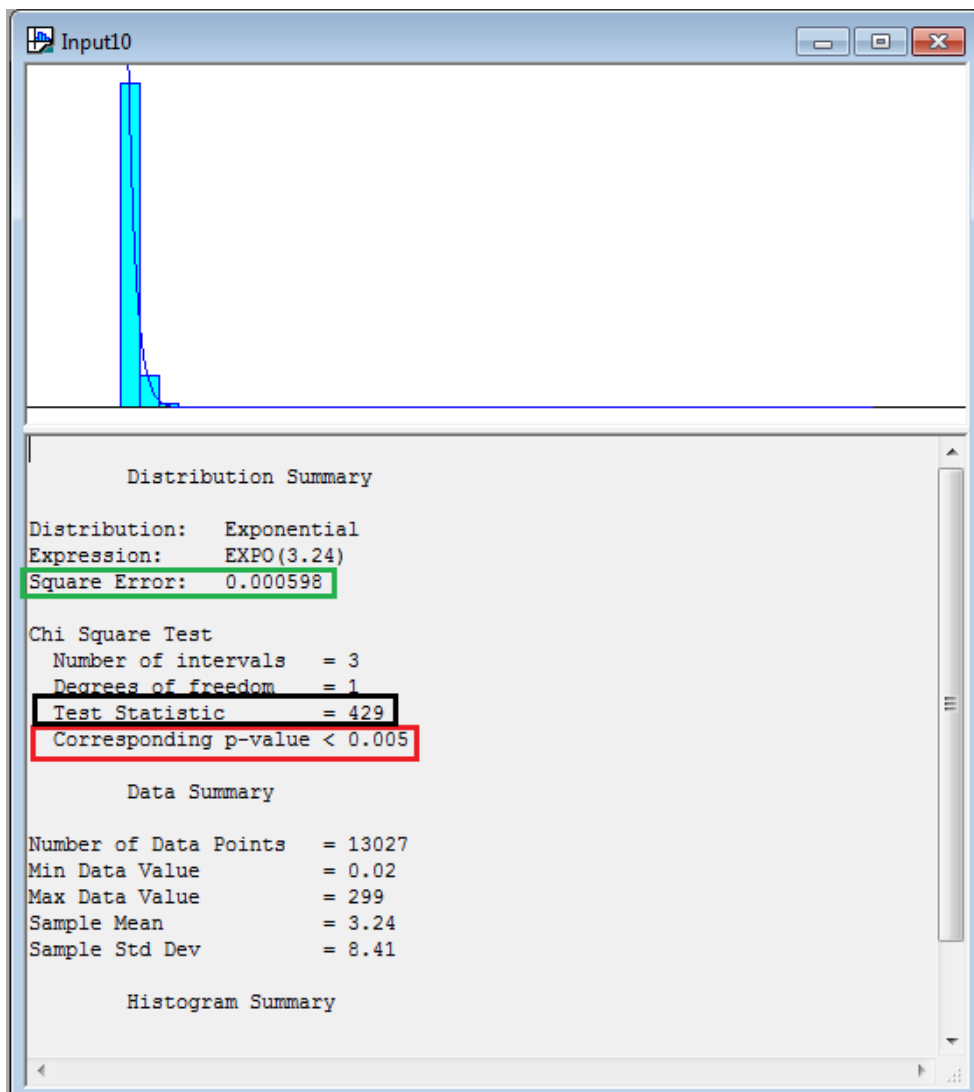
Gráfico 2 – Distribuição nos blocos de destinos no armazém



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Os dados obtidos foram tratados e representados em minutos ou segundos e, através da ferramenta do *software* Arena, o *Input Analyzer*, foram ajustados à função de distribuição de probabilidade que melhor represente a frequência dos eventos. A Figura 13 ilustra um exemplo obtido da distribuição de frequência do tempo entre *chamadas* de todos os meses em estudo, cuja distribuição, se validada, pode servir de entrada de informação para o módulo do *software* Arena que representa a geração de *chamadas de transporte por empilhadeiras*.

Figura 13 – Distribuição de probabilidade dos intervalos entre chamadas por empilhadeiras



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A ferramenta *Input Analyzer* oferece também recursos para verificar a aderência da função de distribuição de probabilidade em relação aos dados inseridos. Tem-se o indicador *Square Error* (erro quadrático, destacado em verde na Figura 13) que indica a discrepância entre as frequências observadas f_i e as frequências relativas esperadas $f(x_i)$. A diferença é

elevada ao quadrado para anular o efeito de sinais negativos no somatório (FREITAS FILHO, 2008). A equação para o cálculo do erro está descrita na equação 1.

$$\text{Square Error} = \sum_{i=0}^n (f_i - f(x_i))^2 \quad (1)$$

Quanto menor a diferença entre f_i e $f(x_i)$ mais próximo os valores entre a função distribuição de probabilidade e os dados coletados, e assim, busca-se um valor próximo a zero para validar a função. O teste de aderência Qui-quadrado (χ^2) também é um indicador (destacado em preto na Figura 13), que representa o somatório das diferenças entre as frequências, esperada ($f(x_i)$) e a observada (f_i), elevadas ao quadrado e divididas pela frequência esperada na amostra (equação 2). Quanto menor o valor de χ^2 , maior é a aderência entre as distribuições.

$$\chi^2 = \sum_{i=0}^n \frac{(fo_i - fe_i)^2}{fe_i} \quad (2)$$

O valor χ^2 responde à pergunta se aceita-se a hipótese que a amostra adere à distribuição comparada. O valor χ^2 deve ser menor que os valores críticos da distribuição, tabelados para o intervalo de confiança de 95% e v graus de liberdade (FREITAS FILHO, 2008). O p -value (destacado em vermelho na Figura 13) serve como indicativo da aceitação: caso ele seja “grande” (maior que 0,005) existe uma alta probabilidade de o conjunto atual de dados ser representado pela distribuição de probabilidade em teste.

Na Figura 13, por exemplo, tem-se a distribuição exponencial, que segundo Prado (2014) comumente representa taxas de chegada com perfil aleatório. Ao analisar os indicadores, percebe-se que a função não passou no teste χ^2 , pois mesmo mantendo um valor de erro quadrático aceitável, o p -value é menor que 0,005, e o teste χ^2 equivale ao valor de 429, sendo que para um grau de liberdade e intervalo de confiança de 95% o valor limite é de 3,84 como mostrado na Tabela 2. Se for utilizada a função descrita tem-se grande chance de não representar os dados de maneira adequada. Na Tabela 2 estão dispostos os conjuntos de dados utilizados neste estudo, com informações como tamanho da amostra, meios de obtenção dos dados, função distribuição de probabilidade, e os indicadores erro quadrático e testes de aderência χ^2 , v graus de liberdade (número de classes de resultados menos o número de

informações da amostra que é necessário para o cálculo dos valores esperados em cada classe) e os valores tabelados de χ^2 para intervalo de confiança de 95%.

Como já demonstrado, o período total não se adequa a uma distribuição estatística oferecida pelo *Input Analyzer*. Para efetuar as análises de maneira mais coerente, primeiro se buscou períodos similares em cada mês, mas nem todos os meses apresentavam períodos com validade estatística ou coerência no modelo de simulação. Optou-se então, por validar os dados de entrada por dia em operação, e posteriormente validar o modelo de simulação em cada dia de operação, para então, fazer as análises dos dias com maior taxa de ocupação de *empilhadeiras* em cada mês. Foram excluídos os dias de domingo, com menos de 10 horas entre a primeira e última chamada do dia, com dados de tempo médio entre as *chamadas de transporte por empilhadeiras* que não aderissem a nenhuma distribuição de probabilidade analisando o *p-value*, e cujo erro fosse maior que 5% entre as chamadas geradas pelo modelo de simulação e as verificadas na prática.

Nas simulações exploratórias foram consideradas 20 replicações para cada dia (utilizando o Modelo A de simulação). Também considerou-se o dado “Hora total do turno” como parâmetro temporal de simulação para cada dia de operação, a distribuição de destinos no armazém do Gráfico 2 para todos os dias em operação, além de uma *empilhadeira* exclusiva, para facilitar a comparação entre dias, visualizando os com maior taxa de utilização da *empilhadeira*. Os dados supracitados de cada dia em operação encontram-se no Apêndice C.

Em relação aos dados de simulação, a velocidade da *empilhadeira* carregada foi considerada entre 8 metros por segundo, e vazia de 10 metros por segundo. Os dias selecionados para análise no cenário 1 foram 13 (Mês 1), 33 (Mês 2) e 44 (Mês 3), por comportarem maiores estimativas de taxas de ocupação do transporte por *empilhadeira*, assim, para simulação utilizou-se um dia de cada mês, inserindo-os no cenário 1. O dia de operação selecionado dentre os contidos no Apêndice C, para ser utilizado nos cenários 2 e 3 e que melhor representasse o comportamento do período em estudo foi o dia 20 (Mês 2). Em relação aos modelos, o cenário 1 foi utilizado no Modelo A, já todos os cenários utilizaram o Modelo B, sendo que no cenário 1 comparou-se os resultados entre os modelos.

Tabela 2 – Distribuições de probabilidade

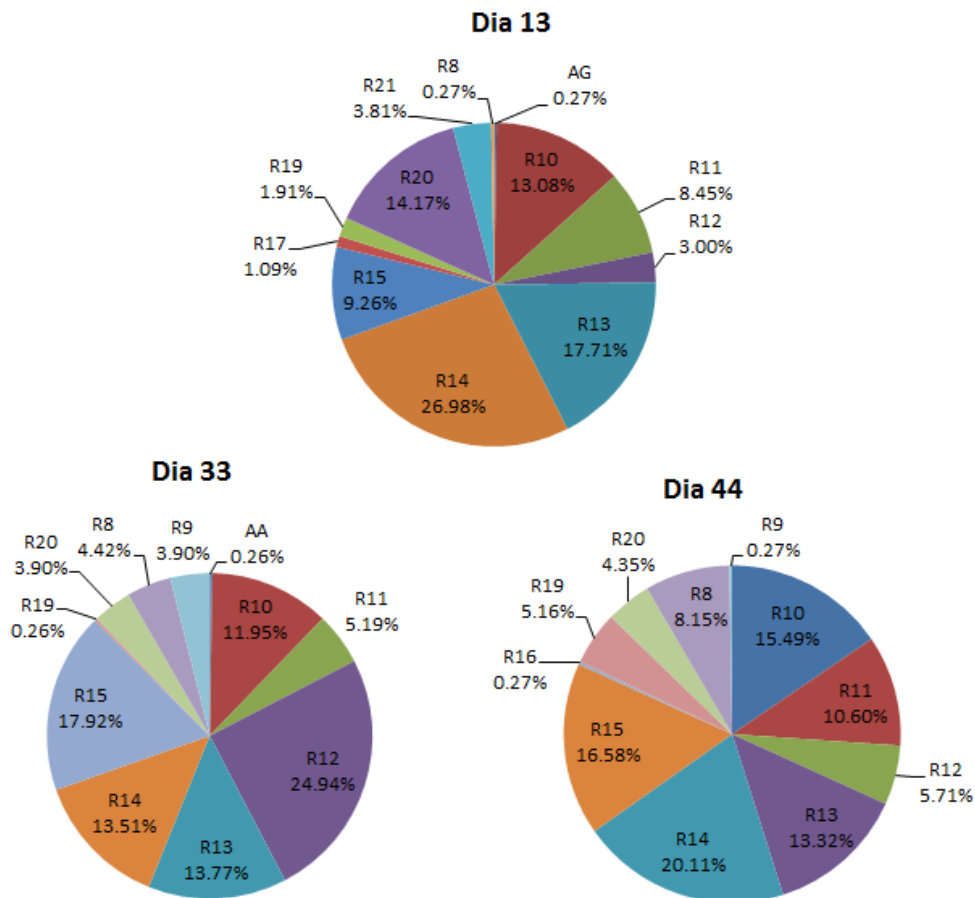
Representação dos dados	Coleta	Número de dados	Distribuição	Expressão	Média Simples	Desvio Padrão	Unidade de medida	Erro Quadrático	χ^2	v	χ^2 (IC=95%)
Chamada de empilhadeiras (todos os dias)	Coleta via sistema	13.027	Exponencial	EXPO(3,24)	3,24	8,41	Minutos	0,0005	429	1	3,84
Chamada de empilhadeiras (dia 13)	Coleta via sistema	385	Beta	21*BETA(0,338; 2,35)	2,64	3,63	Minutos	0,0013	12	9	16,93
Chamada de empilhadeiras (dia 33)	Coleta via sistema	392	Beta	21*BETA(0,362; 2,62)	2,55	3,44	Minutos	0,0033	14,9	9	16,93
Chamada de empilhadeiras (dia 44)	Coleta via sistema	379	Beta	28*BETA(0,46; 4,02)	2,64	3,81	Minutos	0,0024	11,4	6	12,59
Chamada de empilhadeiras (dia 20)	Coleta via sistema	378	Beta	98*BETA(0,502; 15,4)	3,03	6,56	Minutos	0,0002	0,62	1	3,84
Organização do lote	Coleta manual	30	Poisson	POIS(33,4)	33,4	5,01	Segundo	0,036	2,38	3	7,81
Guarda no armazém	Coleta manual	30	Gamma	37,5+GAMM(2,92; 1,45)	41,73	3,65	Segundo	0,0585	1,16	1	3,84

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Para cada dia de operação, o número de envios para os locais de guarda dos produtos no armazém se alterou, sendo que, não foram em todos os dias que existiram envios de produtos a todos os 18 blocos (corredores) levantados em todo o período em estudo. A porcentagens ocorrida nos dias 13, 33 e 44 de distribuição nos blocos (corredores) de destino no armazém que possibilitaram o cálculo das distâncias ponderadas, e que foram utilizadas na simulação destes dias estão demonstradas no Gráfico 3. Conforme já descrito, a partir do número de envios para cada endereçamento (BINs) no armazém, e a distância percorrida pela empilhadeira entre o local de formação dos lotes até estes BINs, foi possível calcular a distância percorrida pelas *empilhadeiras* entre as células de formação de lote até qualquer um dos 18 blocos (corredores) de destino no armazém para cada dia de operação.

Gráfico 3 – Porcentagem de transporte para os blocos de destinos nos dias 13, 33 e 44

Distribuição nos blocos de destinos no armazém



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

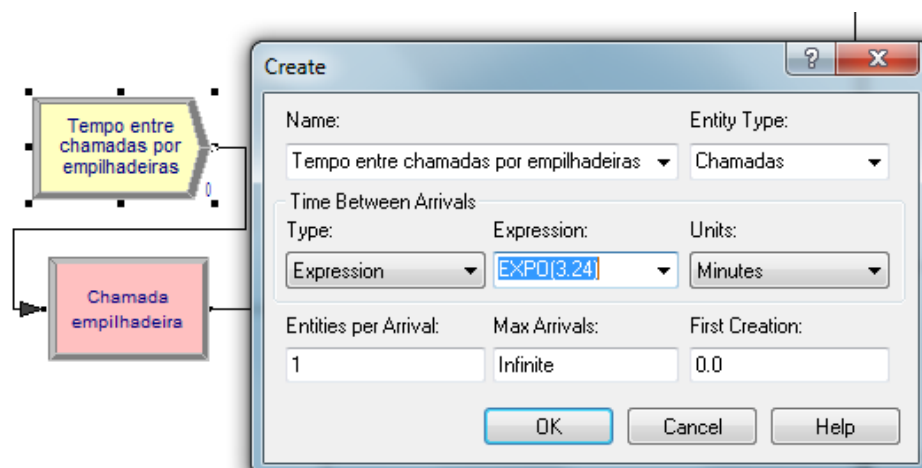
4.4 MODELO PROPOSTO PARA SIMULAÇÃO

Os modelos A e B utilizados no *software* Arena podem ser visualizados na íntegra nos Apêndices A1, A2 (Modelo A) e B (Modelo B). Os procedimentos e a lógica do modelo bem como seus detalhes serão e apresentados a seguir.

4.4.1 Lógica do Modelo A

As entidades no Modelo A são as *chamadas de transporte por empilhadeiras*, o módulo que representa a criação destas entidades é o *Create*. Na Figura 14 estão dispostas todas as informações necessárias e na representação deste módulo é inserida a expressão dos valores entre *chamada de transporte por empilhadeiras* (de maneira ilustrativa a expressão “Chamada de empilhadeira (todos os dias)”) obtida através do *Input Analyzer*, e contida na Tabela 2 (em minutos). “Chamadas” é o nome dado às entidades que percorrerão o sistema; para cada intervalo aleatório que segue a expressão inserida será criada uma entidade, não contendo limite de criação, e iniciando a geração de entidades no instante do início da simulação.

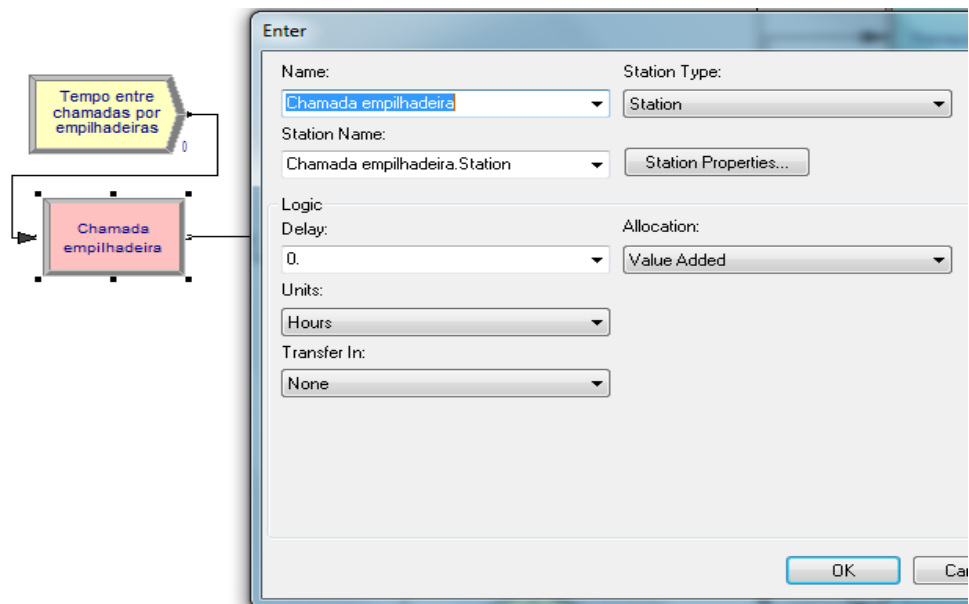
Figura 14 – Criação das entidades



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Após uma *chamada de transporte por empilhadeiras* ser gerada ela se encaminha ao módulo *Station* denominado “Chamada empilhadeiras”, este módulo é necessário para efetuar o transporte, representando um local, onde podem ser criadas as rotas. Nenhum valor de tempo é agregado nesta *Station*, e a Figura 15 apresenta as configurações deste módulo.

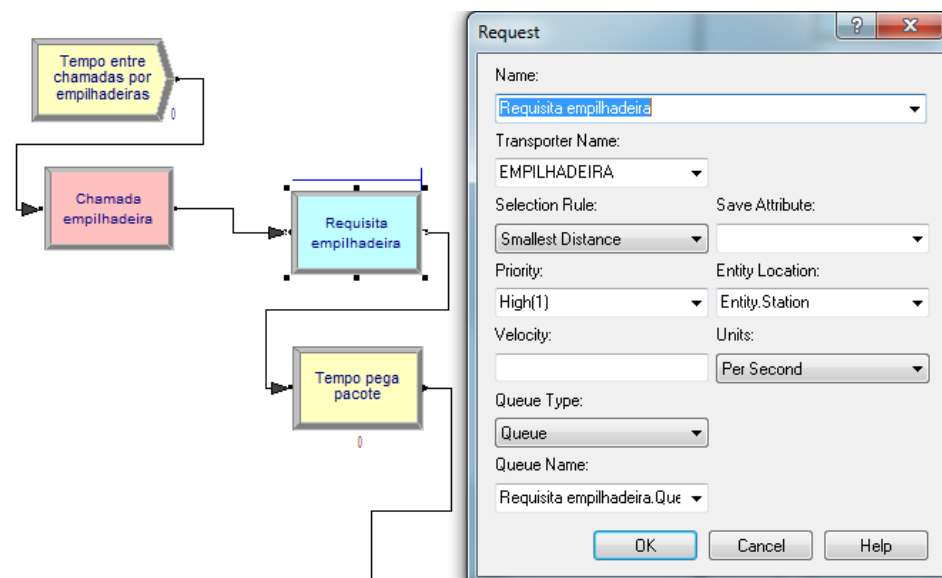
Figura 15 – Station Chamada empilhadeira



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Com isto, o requerimento pelo transporte é acionado, utilizado o módulo *Request*, que requisita o transporte, no caso a “EMPILHADEIRA”, não inserindo a velocidade média do transporte neste instante, mas posteriormente nos deslocamentos carregado e vazio esta velocidade é inserida como 8 e 10 metros por segundo respectivamente. Este módulo também permite analisar a fila de espera pelo transporte posteriormente e está ilustrado na Figura 16.

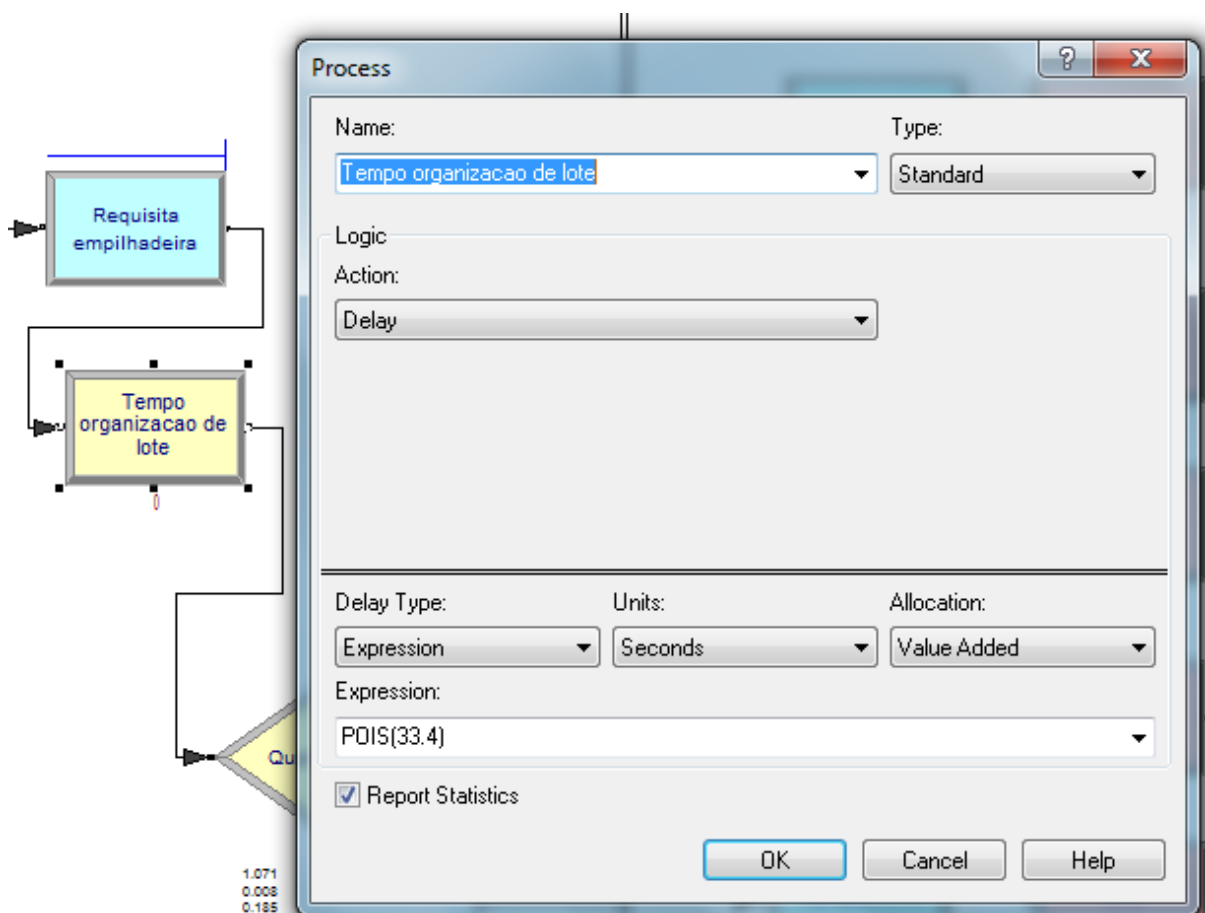
Figura 16 – Requisita empilhadeiras



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Caso a *empilhadeira* esteja disponível a chamada é atendida, caso contrário ela permanece em espera. Ao estar disponível o transporte, a *chamada de transporte por empilhadeiras* passa pelo módulo *Process* denominado “Tempo organização de lote”, que está caracterizado como *Delay*, sendo uma espera que representa a organização dos lotes para o transporte adequado até o local de destino. O tempo deste processo segue uma distribuição de probabilidade Poisson de média 33,4 segundos, e a Figura 17 demonstra as configurações deste módulo.

Figura 17 – Organização dos lotes

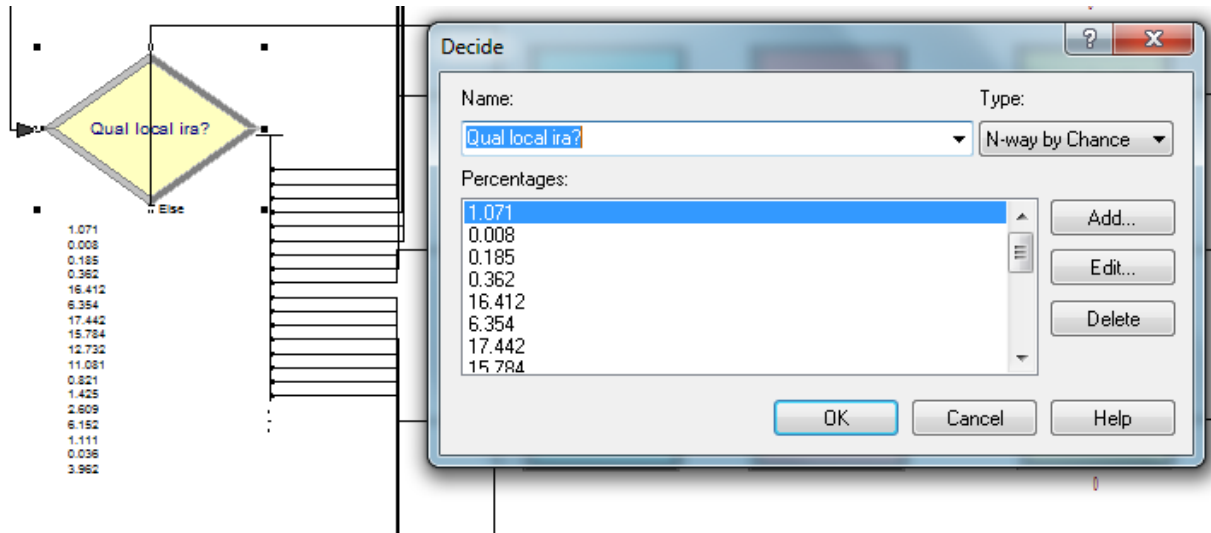


Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Estando o lote pronto para o transporte, devidamente carregado pela *empilhadeira*, o modelo segue a lógica de distribuição do dia específico, levando a entidade “chamada” (que representa o lote em transporte) até seu local de destino entre os 18 destinos mencionados anteriormente (blocos de destino que representam corredores no armazém). Para isto utiliza-se na modelagem o módulo *Decide* nomeado “Qual local irá?”, dividindo os destinos no

armazém em porcentagens simples, sem nenhuma outra regra, assim como demonstrado pela Figura 18.

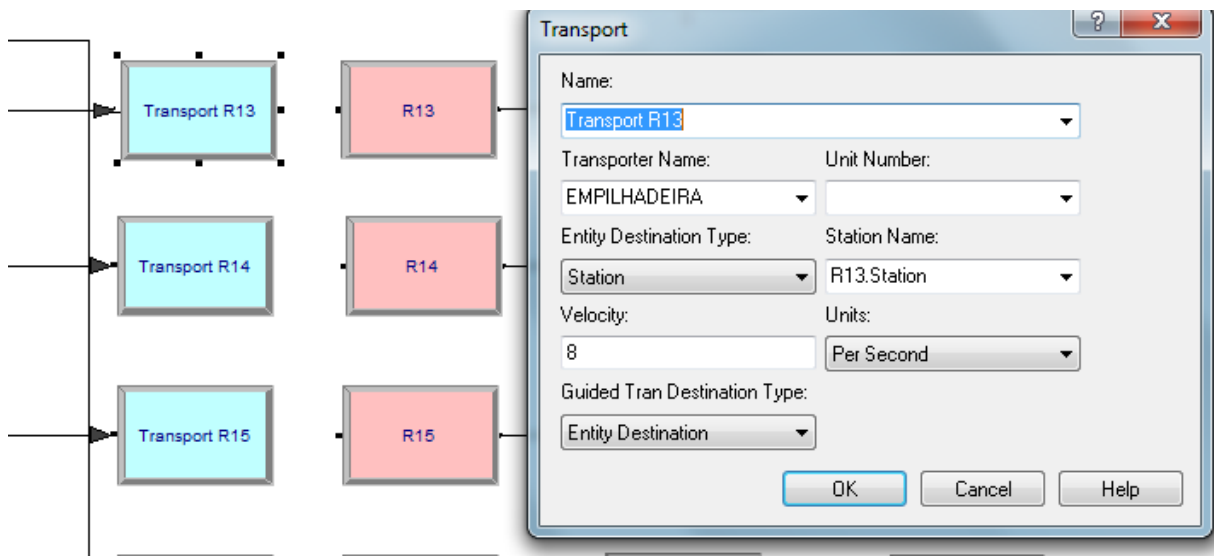
Figura 18 – Distribuição dos blocos de destino de armazenagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Já definido o local de destino do lote de produtos acabados, aqui tratado como a entidade “chamada”, o módulo *Transport* realiza o deslocamento da *Station* “Chamada empilhadeira” para a *Station* de destino (um dos 18 destinos). A velocidade do transporte (EMPILHADEIRA) é de 8 metros por segundo por estar carregada. A Figura 19 ilustra estas características.

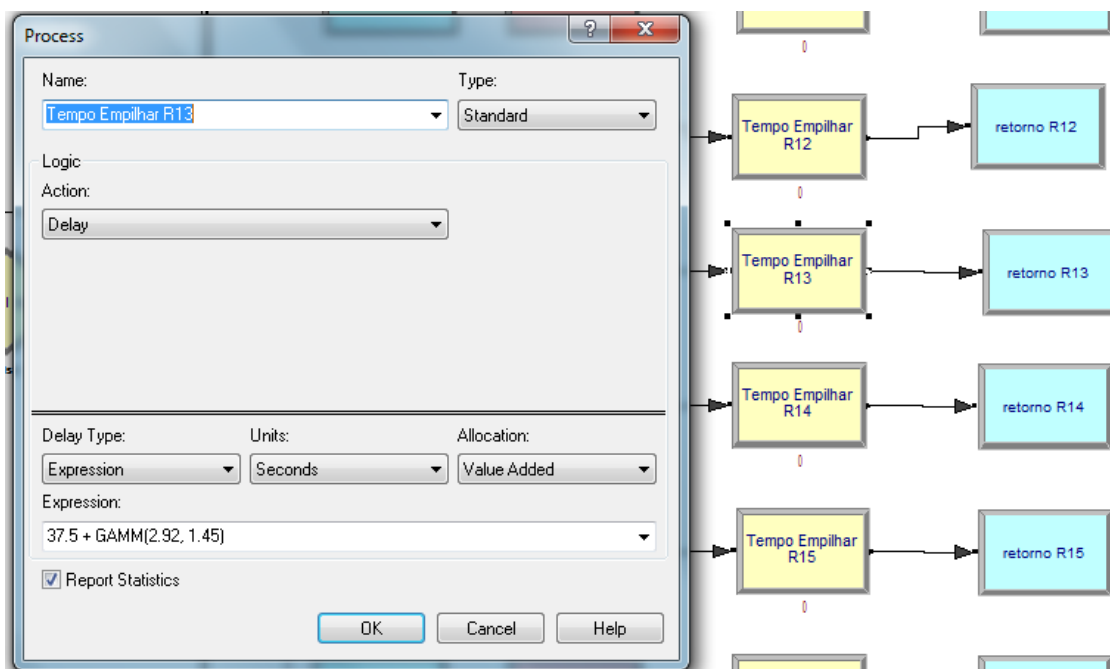
Figura 19 – Transporte até o local de endereçamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A chamada de transporte por empilhadeiras (entidade) chega ao destino após ser transportada, sendo necessário um tempo para o armazenamento do item de maneira adequada no endereço de destino. Utiliza-se o módulo *Process* (Figura 20), caracterizado como *Delay*, sendo uma espera que representa o tempo de guarda do lote no armazém. A distribuição de probabilidade que representa este tempo é uma distribuição Gamma de média 2,92 segundos, desvio padrão 1,45 segundos, somada a uma constante de 37,5 segundos.

Figura 20 – Tempo de guarda do lote no local de destino

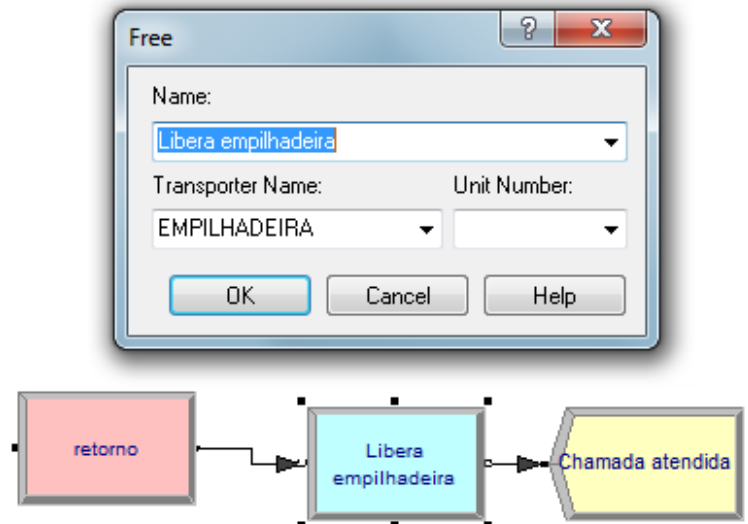


Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Para o retorno da *empilhadeira* após o transporte é utilizado o módulo *Transport*, demonstrado na Figura 20, porém considera-se a velocidade de 10 metros por segundo devido a *empilhadeira* estar vazia, retornando para a *Station* denominada “retorno”. Após a entidade retornar ela passa pelo módulo *Free* que deixa disponível novamente o transporte e enfim o ciclo de atendimento à chamada chega ao fim e a entidade “chamada” sai do sistema. A Figura 21 ilustra este procedimento. É necessário criar 37 rotas na tabela *Distance*, para que o transporte faça a locomoção, e, portanto, foram inseridas as distâncias coletadas, 18 rotas de ida, e 18 de retorno (sendo a mesma distância de ida e distância de retorno), e uma rota a mais para o deslocamento da *Station* “retorno” para a “Chamada empilhadeira”, sendo inserido o valor de zero para a distância percorrida, pois ocorrem praticamente no mesmo local. A

empilhadeira sempre inicia a simulação na *Station* “Chamada empilhadeira” e considera-se *empilhadeiras* exclusivas para o atendimento da fábrica α para o transporte até o armazém.

Figura 21 – Liberação do transporte



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

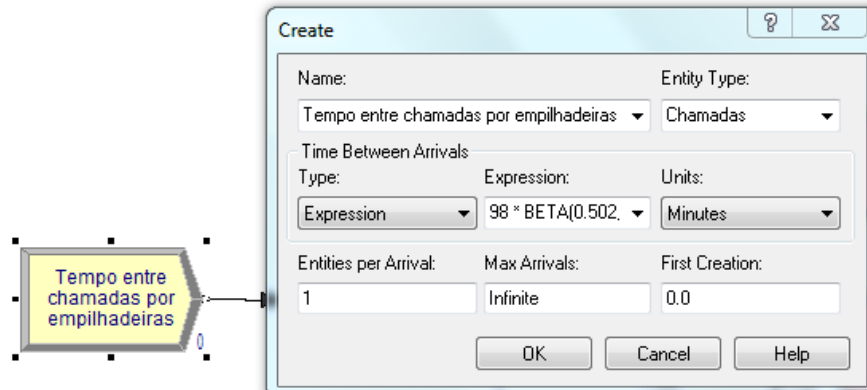
O modelo A foi satisfatório para as análises iniciais, entretanto não foi possível variar o número de *empilhadeiras* ao longo do dia de operação na simulação, para isto o modelo B foi elaborado.

4.4.2 Lógica do Modelo B

O Modelo B (Apêndice B) segue a mesma lógica do modelo A, entretanto os módulos de *Transport* (azuis) foram excluídos, assim como os módulos *Process* denominados “Tempo organização de lote” e “Tempo empilhar”. Estes itens foram excluídos para serem substituídos por outra abordagem, ao invés de usar os módulos transportadores do *software* e contabilizar o tempo em etapas separadas. Assim, passou-se a utilizar o módulo de processos básicos (*Process*), em um único módulo somando os tempos de organização de lote, tempo para empilhar e o tempo de transporte. Estes módulos de processos básicos utilizam recursos para atender as entidades, e neste caso as entidades estão nomeadas como “chamadas” e os recursos que prestam o atendimento são as “*empilhadeiras*”.

As entidades no Modelo B representam as *chamadas de transporte por empilhadeiras*, o módulo que representa a criação destas entidades é o *Create*, como representado na Figura 22.

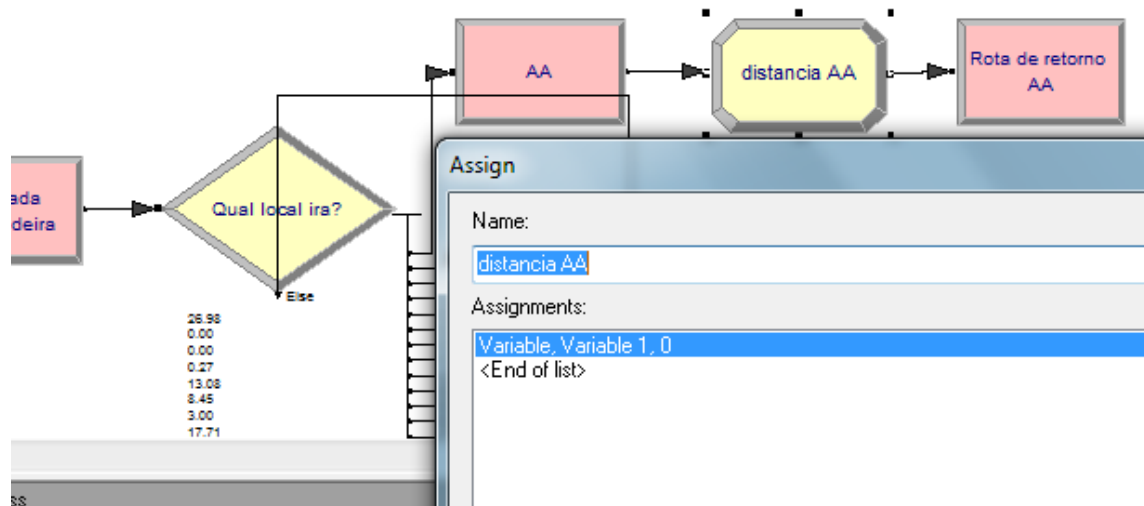
Figura 22 – Módulo *Create* “Tempo entre chamadas por empilhadeiras”



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Após as entidades serem distribuídas nos destinos pelo módulo *Decide* (“Qual local irá?”), o módulo *Assign* atribui à entidade “chamadas” o valor da distância das células de formação de lote até o local de destino no armazém. E esta variável é denominada “Variable 1”. Em seguida as entidades (*chamada de transporte por empilhadeiras*) se deslocam para o módulo *Route* (Rota de retorno), sendo que este módulo tem a função de conectar uma rota até a *Station* “retorno” (Figura 23).

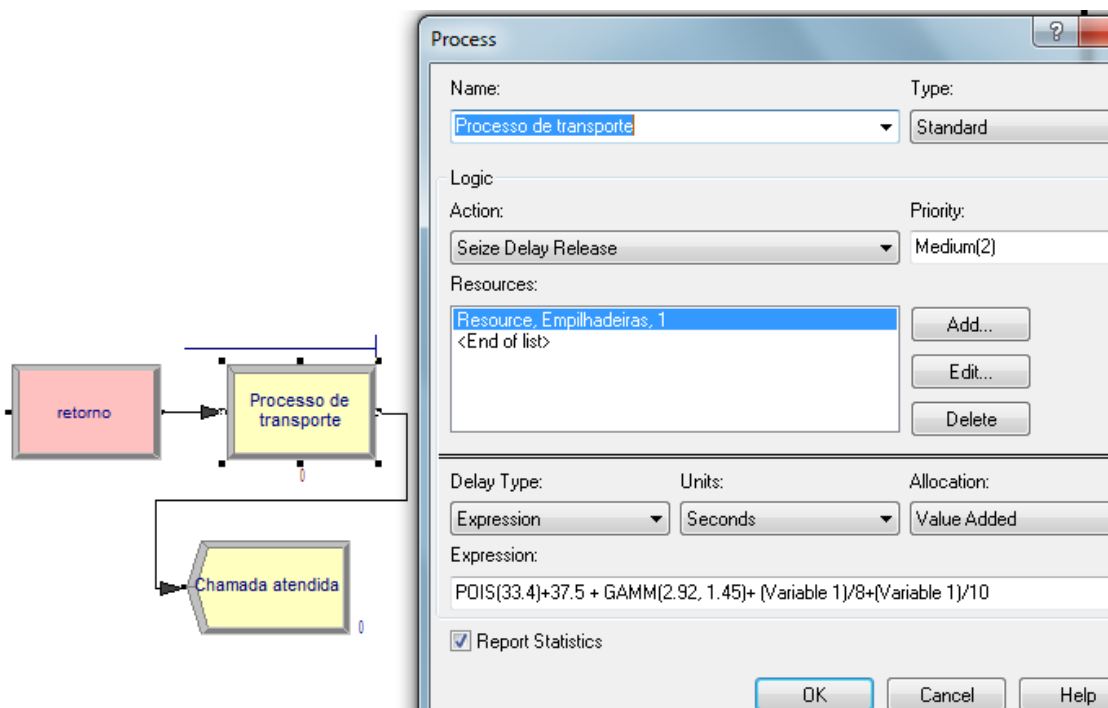
Figura 23 – Bloco *Assign* atribuindo valores das distâncias até os destinos



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Para contabilizar os tempos de organização de lote, tempo de empilhar o lote e o tempo de transporte, neste modelo utiliza-se o módulo *Process* (Processo de transporte). Utiliza-se como recursos do processo as *empilhadeiras*, as quais podem ser alteradas ao longo do tempo, definindo-se a cada hora a quantidade de *empilhadeiras* utilizadas. O “Processo de transporte” está representado pela Figura 24 e o recurso utilizado é denominado “*empilhadeiras*”.

Figura 24 – Processo de transporte

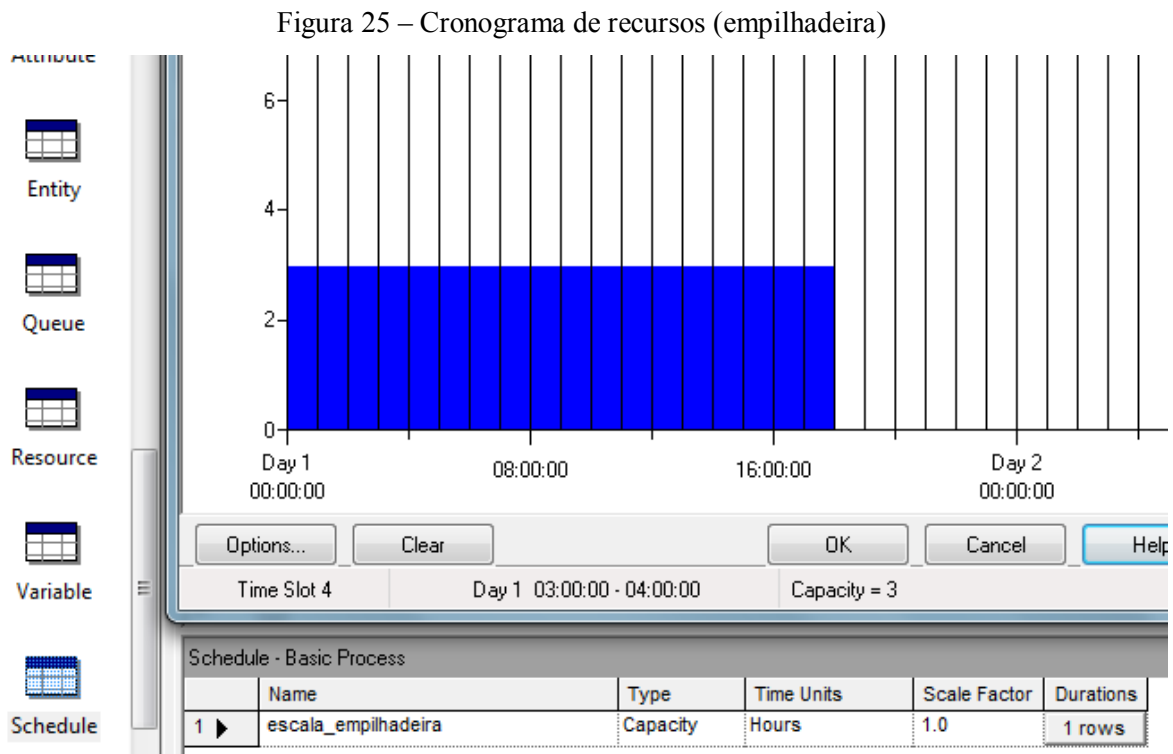


Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A função de tempo total para o transporte em segundos é a “ $POIS(33,4) + 37,5 + GAMM(2,92;1,45) + (Variable\ 1)/8 + (Variable\ 1)/10$ ” e esta inserida na célula *Expression* da Figura 24. Nesta função, somam-se as funções do tempo médio para a organização do lote (distribuição Poisson de média 33,4 segundos); o tempo médio de empilhar o lote (distribuição Gamma de média 2,92 segundos, variância de 1,45 segundos, somada a uma constante de 37,5 segundos); o tempo de deslocamento da *empilhadeira* do ponto de formação dos lotes até o bloco de destino no armazém ($(Variable\ 1)/8$) e o retorno da *empilhadeira* vazia até as proximidades das células de formação dos lotes ($(Variable\ 1)/10$). O tempo de deslocamento da *empilhadeira* advém da divisão da distância (*Variable 1*) pela velocidade da

empilhadeira carregada (8 metros por segundo) somado a distância (Variable 1) dividida pela velocidade da *empilhadeira* vazia (10 metros por segundo).

No módulo “Processo de transporte” (Figura 24) é onde as filas ocorrem neste modelo, e a grande importância do mesmo é a possibilidade de escalar os recursos (*empilhadeiras*) não de maneira fixa na simulação, mas de maneira variável ao longo do tempo, conforme a necessidade da demanda. A Figura 25 ilustra a tabela “Schedule”, ou seja, o cronograma de agendamento da quantidade de *empilhadeiras* disponíveis ao longo da simulação (barras azuis). Como exemplo, têm-se três *empilhadeiras* escaladas ao longo do turno, de maneira constante.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A vantagem deste modelo está na simplicidade e possibilidade de analisar a taxa de utilização das *empilhadeiras* com esta flutuação do número disponível ao longo do dia em operação. Entretanto no Modelo A, por utilizar os Blocos *Transport*, se tem maior facilidade de inserir informações e retorna-se uma análise mais ampla em relação ao transporte, como por exemplo, o tempo em trânsito e a possibilidade de analisar os tempos de organização do lote e tempo de empilhar o lote no local de destino no armazém separadamente.

Os resultados e análises obtidos durante a simulação serão apresentados no próximo capítulo, contendo diferentes cenários de estudo.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos no estudo, ao se analisar o sistema simulado através do *software* Arena. Na primeira seção é estimado o número de replicações necessárias dos modelos e verificada a coerência. Na segunda seção, o cenário 1 apresenta a taxa de ocupação das *empilhadeiras* em dias de maior movimentação. Na terceira seção o cenário 2 analisa o aumento da demanda, e o propõe o melhor momento para inserção de uma nova *empilhadeira*. No cenário 3, altera-se a localização dos pontos do armazém para analisar o ganho em capacidade em relação a diminuição das distâncias percorridas.

5.1 REPLICAÇÕES E VERIFICAÇÃO DOS MODELOS

Antes de realizar as análises, para existir confiabilidade nos dados do *output* da simulação, é necessário estipular o número de replicações (número de repetições da simulação) do sistema, pois se trata de um sistema com variáveis aleatórias, e seu resultado pode oscilar entre as simulações. Conforme Freitas Filho (2008), pode-se estabelecer o número de replicações a partir do valor médio de uma variável de controle qualquer, com nível de precisão de $\pm r \%$ e nível de confiança $100(1-\alpha)\%$.

Uma variável qualquer pode ser escolhida para o cálculo de replicações, que neste caso foi o número médio de empilhadeiras utilizado dentro do sistema (este número não se altera ao inserir mais empilhadeiras na simulação, garantindo a mesma confiabilidade para simulações que alterem o número de empilhadeiras). O cenário 1 representa a situação real de dias específicos de operação, e sua verificação é necessária para poder realizar as outras análises. Aplicou-se a simulação de 20 replicações no Modelo A, para os dias de operação 13, 33 e 44, utilizando-se as porcentagens de distribuições de destinos contidas no Gráfico 3.

O dia 13 retornou o maior número de replicações através do cálculo, com média \bar{x} (0,8706) e seu desvio padrão S (0,03), definindo uma precisão de 0,002 com um nível de confiança igual a 95% ($z = 1,96$). Assim sendo, os dados foram inseridos na equação 3.

$$n = \left(\frac{100 \cdot z \cdot S}{r \cdot \bar{x}} \right)^2 \quad (3)$$

Onde n representa o número de replicações, e o valor de r é representado como o intervalo de confiança para a precisão desejada, sendo a *precisão desejada* postulada por 0,002. A equação 3 requer r em porcentagem e assim é necessário transformá-lo através da equação 4, onde r representa o intervalo de confiança em relação à média.

$$r = \left(\frac{\text{precisão desejada}}{\bar{x}} \right) * 100 \quad (4)$$

Assim, substituindo os valores na equação 3, obtém-se o número mínimo de replicações para os parâmetros de erro desejado. Tem-se, portanto:

$$n = \left(\frac{100 * 1,96 * 0,03}{0,2297 * 0,8706} \right)^2 = 864,36 \text{ replicações}$$

Concluindo-se assim que, o número mínimo de replicações (n) necessárias para obter os resultados com o nível de confiança esperado é de 865 replicações. Tendo em vista o limite mínimo calculado de replicações, para elevar a confiabilidade das simulações deste estudo, utilizou-se o número de 1.000 replicações (cerca de 35 minutos para realizar 1.000 replicações no Modelo A, e 6 minutos para o Modelo B), a fim de se obter dados com maior precisão e menor erro experimental.

Três indicadores foram utilizados para verificar a validade dos modelos, sendo eles o número médio de *chamadas de transporte por empilhadeiras*, o número máximo de *chamada de transporte por empilhadeiras* na fila (em espera) e o número médio de *chamada de transporte por empilhadeiras* não atendidas (Tabela 3). É possível verificar a coerência do modelo ao analisar a Tabela 3, onde a utilização das distribuições de “Chamada de empilhadeiras” como representante das *chamadas de transporte por empilhadeiras* apresenta erros inferiores a 4% comparado aos dados coletados.

Utiliza-se o mesmo número médio de três empilhadeiras para atender a demanda da fábrica α . O limite máximo de chamadas em espera não foi ultrapassado, pois na fábrica existem 35 células para formar os lotes, ou seja, se o número máximo de *chamadas de transporte por empilhadeiras* na fila ultrapassa este valor a produção para, o que é evitado nas

operações do armazém em estudo. Não restou, em média, mais do que uma entidade ao final da simulação, sendo que todas as chamadas geradas no dia foram atendidas no próprio dia, mesmo considerando os dias com maior demanda, como o observado através dos dados fornecidos pela empresa.

Tabela 3 – Parâmetros de validação dos modelos

DIA/Parâmetros	DIA 13	DIA 33	DIA 44
Média de <i>chamadas</i> (dados coletados)	386	393	380
Média de <i>chamadas</i> simuladas	378	378	375,73
Erro entre <i>chamadas</i> simuladas e coletadas	-2,07%	-3,81%	-1,12%
Número máximo de <i>chamadas</i> em espera na simulação	12	11	11
Número médio de <i>chamadas</i> não atendidas na simulação	0,964	0,928	0,867

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

As distribuições que representam a criação de *chamada de transporte por empilhadeiras* foram validadas, e o modelo retornou as chamadas com um erro aceitável menor que 4%. Ao analisar os dados fornecidos, entre turnos (das 5 às 13 horas, e das 13 às 21 horas) nestes dias, na maior parte da operação havia três empilhadeiras em operação, oscilando entre duas, chegando a um período breve de cinco empilhadeiras (Apêndice D).

O Modelo B utilizou-se os mesmos parâmetros do Modelo A e apresentou erro menor que 1% em todas as médias, entretanto na análise das filas, o número máximo na fila e tempo máximo de espera retornou valores inferiores em relação ao Modelo A. Nos dias 13, 33 e 44, o Modelo B retornou valores de tempo máximo de espera na fila menores, 7%, 2,64% e 12,45%, respectivamente, e ao invés de 12, 11 e 11 (Tabela 3), retornou 10, 11 e 10 *chamadas de transporte por empilhadeiras* como número máximo em espera por transporte.

5.2 CENÁRIO 1

Após replicar o Modelo A 1.000 vezes entre os dias de operação 13, 33 e 44, utilizando suas respectivas porcentagens para cada bloco de destino no armazém (Gráfico 3) juntamente com os parâmetros para cada dia de operação, e simulando com três empilhadeiras exclusivas, obteve-se os resultados das taxas de utilização das empilhadeiras apresentados na Tabela 4.

O dia 13 se mostrou o com maior taxa de ocupação das empilhadeiras, ou seja, cada empilhadeira ficou 29,56% do tempo em operação. No dia 13 o número máximo de *chamada de transporte por empilhadeiras* em espera foi de 12 unidades. Este número máximo em

espera representa o maior número de lotes aguardando o transporte em dado momento do dia de operação. O dia 33 retornou o mesmo número máximo de *chamada de transporte por empilhadeiras* em espera ocorrido no dia 44, sendo de 11 *chamadas de transporte por empilhadeiras* em espera.

Tabela 4 – Taxa de ocupação das empilhadeiras cenário 1 (Modelo A)

Parâmetros	Taxa de utilização das empilhadeiras
Dia de operação 13	29,56%
Dia de operação 33	26,82%
Dia de operação 44	26,77%

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

O tempo médio em que as *chamadas de transporte por empilhadeiras* ficaram esperando por transporte no dia de operação 13 foi de 12,36 segundos, para o dia 33 foi de 8,44 segundos e para o dia 44 foi de 10,18 segundos. O fato de o dia de operação 44 ter um tempo médio de espera maior do que o dia 33 e uma taxa de ocupação de empilhadeiras menor residem em uma menor demanda (número de *chamadas*) ao longo do dia em operação, pois o tempo médio em transporte é maior para o dia 44 (3,67 segundos a mais), devido a este dia ter envios a destinos mais longínquos no armazém.

As porcentagens da taxa de utilização das empilhadeiras podem parecer baixas, entretanto é necessário ter este número de três empilhadeiras para atender de forma ágil as chamadas, e não gerar um número de lotes em espera muito elevado, pois, se alcançar o número de 35 *chamadas de transporte por empilhadeiras* em espera, não haveria local para alocar os produtos que estão sendo recebidos, e a linha de produção pararia, o que deve ser evitado.

Para se analisar de maneira mais detalhada o dia 13, que apresentou a maior taxa de ocupação das empilhadeiras, tem-se o cenário 1.1 apresentando mais detalhes da simulação anterior (Modelo A) e outros resultados com número de empilhadeiras variando ao longo do dia de operação, como é o observado na prática (Apêndice D) utilizando o Modelo B.

5.2.1 Cenário 1.1

A Tabela 5 apresenta, de maneira mais detalhada os resultados das 1.000 replicações para o dia de maior taxa de utilização das empilhadeiras em análise, o dia de operação 13.

Para os parâmetros utilizados, e o cenário em estudo tem-se a operação de três empilhadeiras exclusivas para o atendimento, disponíveis ao longo de todo o turno, utilizando para esta análise o Modelo A.

O tempo de pega e guarda do lote pode ser entendido como o tempo médio em que o operador de empilhadeira organiza o lote para o transporte somado ao tempo médio de guarda do lote no armazém, sendo de 1 minuto e 15 segundos. Este tempo médio não se altera significativamente entre os cenários de simulação, pois seguem a mesma distribuição de tempos em todos eles.

Tabela 5 – Resultados das replicações do cenário 1.1 (Modelo A)

Entidade (Chamadas de transporte por empilhadeiras)		
Parâmetros	Média	Valor máximo
Tempo de pega e guarda do lote (minutos)	1,252	1,910
Tempo em transporte (minutos)	1,139	2,010
Tempo total de atendimento das <i>chamadas</i> (minutos)	2,600	11,716
Número de <i>chamadas</i> não atendidas	0,964	-
Fila		
Tempo de espera das <i>chamadas</i> na fila (minutos)	0,208	9,332
Número de <i>chamadas</i> em espera	0,078	12
Transporte (Empilhadeiras)		
Taxa de ocupação das empilhadeiras (%)	29,56%	100%

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

O tempo em transporte (1 minuto e 8 segundos) é o tempo médio em que a empilhadeira dispense para transportar o lote desde a célula de formação de lotes até os locais de armazenamento, contabilizando também o tempo de retorno da empilhadeira até o as proximidades à célula de formação de lotes ou até a célula de formação de lotes caso exista uma nova chamada.

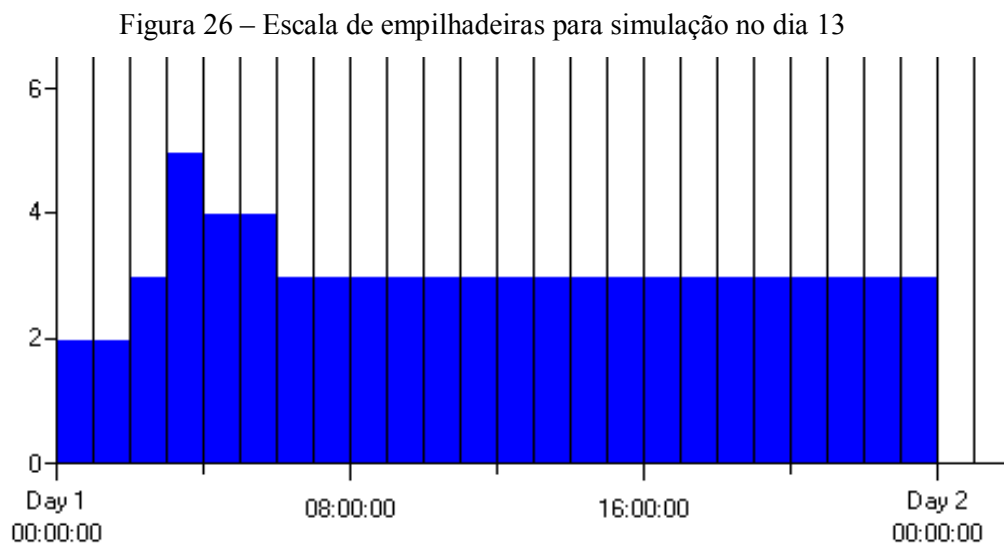
O tempo médio total de atendimento das *chamadas de transporte por empilhadeiras* é a soma dos tempos médios de pega e guarda do lote, tempo em transporte e tempo em espera das *chamadas de transporte por empilhadeiras*. Pode ser interpretado como o tempo dispendido para a chamada ser completamente atendida, totalizando 2 minutos e 36 segundos.

O número de *chamadas* não atendidas representa quantas *chamadas de transporte por empilhadeiras* existem em média ao longo do processo considerando as que estão sendo atendidas e as que estão em espera ao final da simulação. Ou seja, o número de *chamadas* não

atendidas representa quantas *chamadas de transporte por empilhadeiras* ficaram para serem atendidas em outro dia de operação, resultando em 0,964 *chamadas de transporte por empilhadeiras*.

O tempo médio de espera das *chamadas de transporte de empilhadeiras* na fila é de 12,48 segundos. O número médio de *chamadas* em espera é de 0,078 *chamadas de transporte por empilhadeiras*, ou seja, em média não ocorreram filas e *chamadas de transporte por empilhadeiras* foram atendidas rapidamente. O número máximo de *chamadas* em espera é de 12 *chamadas de transporte por empilhadeiras*. Este número não poderia ultrapassar 35, pois é o limite de células de formações de lote.

Para analisar de maneira mais fidedigna o dia em operação 13, utilizou-se o Modelo B, considerando a escala de empilhadeira real baseada no Apêndice D. A Figura 26 apresenta os períodos e o número de *empilhadeiras* utilizadas para a simulação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Os resultados da simulação do dia de operação 13 utilizando o Modelo B estão na Tabela 6. Como este utiliza outra abordagem, o tempo de pega, guarda e transporte do lote se refere a todo o processo de atendimento das *chamadas de transporte por empilhadeiras*, considerando os tempos para organizar o lote e de empilhamento no destino além do tempo de transporte em si. Estes tempos médios foram praticamente iguais nos dois modelos, como esperado, sendo as distâncias e expressões probabilísticas iguais entre eles, a diferença esta na fila e na taxa de ocupação das *empilhadeiras*, pois o número de *empilhadeiras* é fixo no Modelo A e segue um cronograma que varia as *empilhadeiras* no Modelo B.

Tabela 6 - Resultados das replicações do cenário 1.1 (Modelo B)

Entidade (Chamadas de transporte por empilhadeiras)		
Parâmetros	Média	Valor máximo
Tempo de pega, guarda e transporte do lote (minutos)	2,392	3,758
Tempo total de atendimento das <i>chamadas</i> (minutos)	2,647	18,361
Número de <i>chamadas</i> não atendidas	0,983	-
Fila		
Tempo de espera das <i>chamadas</i> na fila (minutos)	0,254	15,852
Número de <i>chamadas</i> em espera	0,095	11
Recursos (Empilhadeiras)		
Taxa instantânea de ocupação (%)	29,78%	100%
Número de empilhadeiras disponíveis	3,117	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

O Modelo B retornou um tempo médio maior de espera das *chamadas* na fila de 15,24 segundos, provavelmente ocorrido no início da simulação quando existem duas empilhadeiras. Entretanto o número máximo de *chamadas de transporte por empilhadeiras* na fila é uma unidade menor, pelo motivo de haver, em certos momentos 4 e 5 empilhadeiras operando. Assim, a taxa instantânea de ocupação torna-se superior (0,22% a mais em cada empilhadeira) à taxa de ocupação no Modelo A, e em média no Modelo B havia disponíveis 3,11 empilhadeiras.

Ao diminuir de 5 para 4 *empilhadeiras* após quatro horas de turno verifica-se que não houve variações significativas na fila, apenas elevando a utilização das *empilhadeiras* em 0,23%, sendo assim, levantando a hipótese de não ser necessário a utilização de 5 *empilhadeiras* dado os parâmetros em análise.

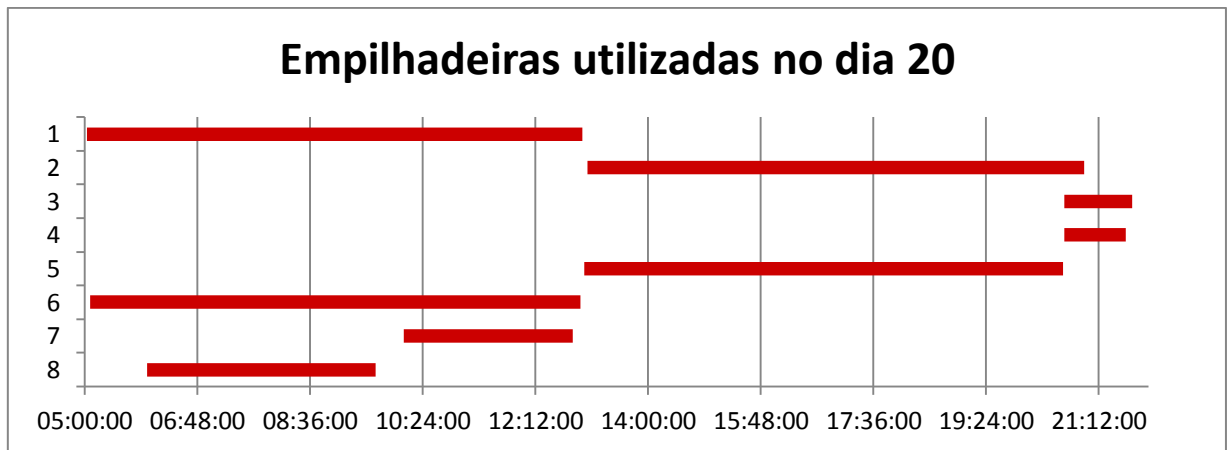
5.3 CENÁRIO 2

Para o cenário 2, escolheu-se um dia entre os contidos no Apêndice C que melhor representasse o comportamento entre o período em estudo, efetuando análises referentes ao aumento de *chamadas de transporte por empilhadeiras*. Para selecionar o dia de operação que melhor representasse o comportamento entre o período em estudo utilizou-se como valores de comparação: as médias de turno (17,9 horas), a expressão que representa a criação de *chamadas de transporte por empilhadeiras* (distribuição Beta é a mais recorrente), a média

dos intervalos entre *chamadas de transporte por empilhadeiras* (3,35 minutos), a média do número médio de *chamadas* simuladas (336,56 chamadas) e a taxa de ocupação média (68,1%).

Comparando os valores supracitados aos dias de operação contidos no Apêndice C, o dia que apresentou menor desvio em todos os valores foi o dia de operação 20. Para este dia foram considerados para a simulação no Modelo B, com 17 horas de turno, além de considera três empilhadeiras em operação no primeiro turno e duas empilhadeiras no segundo, como é observado na prática (Gráfico 4). Para as distribuições nos destinos do armazém, foram utilizadas as porcentagens de transporte coletadas em todo o período em estudo (Gráfico 2), assim calculando as distâncias ponderadas.

Gráfico 4 – Empilhadeiras utilizadas no dia de operação 20



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

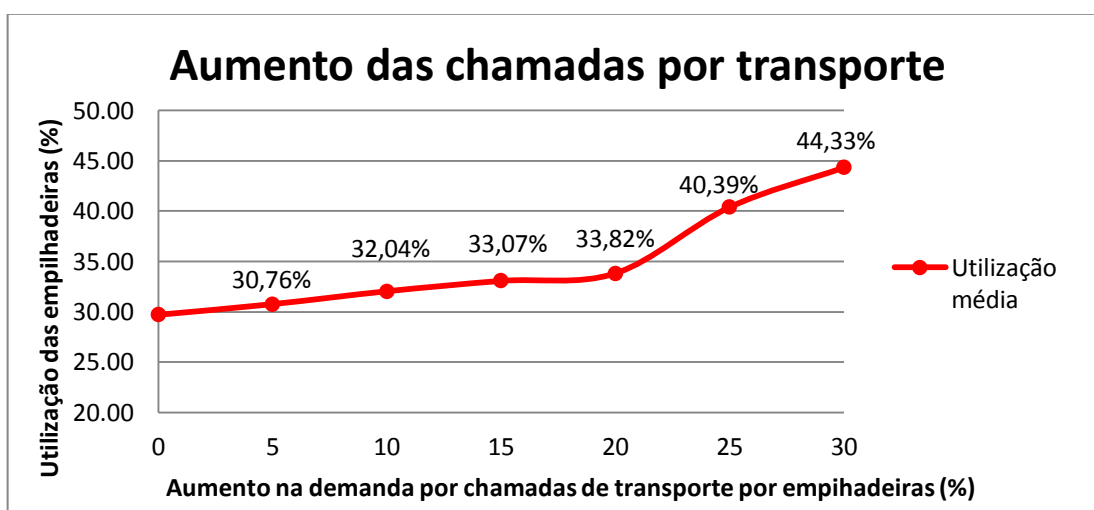
A Tabela 7 contém os dados de saída da simulação do cenário 2 sem alteração na demanda. O tempo médio de pega, guarda e transporte do lote neste cenário é de 2 minutos e 10 segundos e o tempo médio de espera das *chamadas* na fila (minutos) é de 16,8 segundos, assim tem-se um tempo médio total de atendimento das *chamadas* de 2 minutos e 26,8 segundos. O número médio de *chamadas* não atendidas é inferior a uma unidade (0,797) e o maior número de *chamadas de transporte de empilhadeiras* em espera na fila é de 9 unidades, dentro dos limites estipulados. A taxa instantânea de utilização das empilhadeiras é de 29,70% e, em média utilizou-se 2,47 empilhadeiras nos processos de transportes.

Tabela 7 - Resultados das replicações do cenário 2 sem alteração na demanda (modelo B)

Entidade (Chamadas de transporte por empilhadeiras)		
Parâmetros	Média	Valor máximo
Tempo de pega, guarda e transporte do lote (minutos)	2,168	3,645
Tempo total de atendimento das <i>chamadas</i> (minutos)	2,448	12,392
Número de <i>chamadas</i> não atendidas	0,797	-
Fila		
Tempo de espera das <i>chamadas</i> na fila (minutos)	0,280	9,940
Número de <i>chamadas</i> em espera	0,092	9
Recursos (Empilhadeiras)		
Taxa instantânea de ocupação (%)	29,70%	100%
Número de empilhadeiras disponíveis	2,47	3

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Para analisar quando seria necessária a inserção de uma nova empilhadeira para atender as *chamadas de transporte por empilhadeiras*, se reduziu os intervalos entre as chamadas, diminuindo percentualmente os dados da distribuição estatística de *chamadas de transporte por empilhadeiras* do dia de operação 20, replicando o Modelo B 1.000 vezes em cada alteração na demanda. O Gráfico 5 apresenta os resultados das simulações, onde a demanda foi alterada, acrescentando-se 5% em cada alteração até chegar a 30% de acréscimo na demanda. A linha em vermelha representa a taxa de utilização média das empilhadeiras em relação aos acréscimos na demanda.

Gráfico 5 – Aumento das *chamadas de transporte por empilhadeiras*

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A Tabela 8 demonstra alguns dados relativos às simulações do aumento desta demanda, sendo que, após 25% de aumento na demanda o número médio de *chamadas* não atendidas ultrapassa uma unidade, já o número máximo de *chamadas* em espera aproxima-se a 17 (metade das células de formação de lotes, locais onde os lotes formados esperam o transporte e cada lote representa uma *chamada de transporte por empilhadeiras*).

Tabela 8 – Dados relativos ao aumento da demanda por *chamadas de transporte*

Aumento na demanda por transporte (%)	Taxa média de ocupação instantânea das empilhadeiras	Número de <i>chamadas</i> não atendidas	Número máximo <i>chamadas</i> em espera
0%	29,70%	0.7971	9
5%	30,76%	0.8327	12
10%	32,04%	0.8766	13
15%	33,07%	0.9145	13
20%	33,82%	0.9446	14
25%	40,39%	1.1398	14
30%	44,33%	1.3432	15

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Ao se elevar a demanda acima de 20%, o sistema apresenta um colapso, dentre os limitantes do cenário. A partir deste momento seria o momento de inserir uma nova empilhadeira no turno de maior demanda, ou no turno em que ocorram picos no número de *chamadas de transporte por empilhadeiras*.

Alguns dados são pertinentes para verificar na prática esta elevação na demanda, sendo que para 20% no aumento da demanda tem-se a intervalo de tempo médio entre *chamadas de transporte por empilhadeiras*, em torno de 2 minutos e 25 segundos, e o número de chamadas gerado para o turno de 17 horas, sendo de 379 *chamadas de transporte por empilhadeiras*.

A seguir, o cenário 3 é melhor descrito, apresentando a análise da troca de locais de destino no armazém do dia de operação 20.

5.4 CENÁRIO 3

Para o cenário 3, se ordenou as localidades de destino no armazém da menor para maior distância (ordem crescente) para relacionar a distância de deslocamento com a porcentagem de envios para cada local no armazém (Tabela 9, as distâncias de deslocamento

foram omitidas). Assim foi possível efetuar alterações de locais de destino (Blocos de destino) com características de armazenamento semelhantes, sendo que no início da tabela tem-se os locais mais próximos das células de formação de lotes. Verificando ao final da Tabela 9, locais com dimensões similares e alta porcentagem de envios pode-se trocar os pares de destino no armazém, com isto a empilhadeira diminuirá o seu deslocamento total, resultando em uma maior disponibilidade para atender as *chamadas de transporte por empilhadeiras*.

Tabela 9 – Ordenação dos blocos (corredores) da menor para maior distância de transporte

Blocos de destino	Porcentagem de envios ao destino
R8	3.96%
AA	1.07%
R9	2.46%
R6	0.03%
AB	0.01%
R11	6.35%
R10	16.41%
R12	17.44%
AF	0.19%
R13	15.78%
R14	12.73%
R15	11.08%
R17	1.43%
AG	0.36%
R16	0.82%
R19	2.61%
R21	1.11%
R20	6.15%

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Ao se analisar os destinos no armazém (blocos que representam os corredores), verificando locais com capacidades similares e que sua troca ocasionaria na inserção de um local de maior distância com um número de envios menores, efetuou-se a troca de dois pares de destinos, R12 com R9 e R20 com R17, utilizando os mesmos parâmetros de um dia que represente melhor o comportamento do período em estudo selecionado no cenário 2 (dia de operação 20 sem aumento na demanda) utilizando o Modelo B. Os resultados da simulação estão dispostos na Tabela 10, para 1.000 replicações.

Tabela 10 - Resultados das replicações para o cenário 3

Entidade (Chamadas de transporte por empilhadeiras)		
Parâmetros	Média	Valor máximo
Tempo de pega, guarda e transporte do lote (minutos)	2,121	3,733
Tempo total de atendimento das <i>chamadas</i> (minutos)	2,382	13,739
Número de <i>chamadas</i> não atendidas	0,775	-
Fila		
Tempo de espera das <i>chamadas</i> na fila (minutos)	0,261	10,649
Número de <i>chamadas</i> em espera	0,085	9
Recursos (Empilhadeiras)		
Taxa instantânea de ocupação (%)	29,04%	100%
Número de empilhadeiras disponíveis	2,47	3

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Para o cenário 3, existe uma diminuição no valor da porcentagem de 0,66 na taxa de utilização de cada empilhadeira (resultando em 2,22% de diminuição) para utilização da empilhadeira. Em relação aos tempos médios, tem-se uma diminuição de 2,17% no tempo de pega, guarda e transporte do lote, 2,70% de diminuição no tempo total de atendimento das *chamadas* e 6,79% de diminuição no tempo de espera das *chamadas* na fila. O número de *chamadas* em espera diminuiu 7,61%, e o número máximo de *chamadas* em espera se manteve em 9 *chamadas de transporte por empilhadeiras*.

O aumento da eficiência não foi tão elevado, os tempos de transporte são um pouco menores (em torno de 9%) do que os tempos de organização do lote e empilhamento dos produtos no local de destino do armazém, como é possível observar na Tabela 5. Estes processos que não são os de transporte efetivamente, caso diminuíssem seus tempos impactariam ainda mais na eficiência do atendimento feito pelas *empilhadeiras*.

Sugere-se a possibilidade de melhoria ao sistema mesmo sem grandes investimentos, ou alteração nos recursos, mas sim apenas rearranjando a disposição da planta física do armazém. Entretanto, é necessário averiguar se essas mudanças são possíveis na prática e na dinâmica do armazém, se o local contém as condições de condicionamento dos produtos, e se os outros processos de manuseio para a expedição dos produtos não serão afetados de maneira negativa.

No próximo capítulo são apresentadas as considerações finais do estudo, limitações do trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O dia de operações 13 se mostrou o mais crítico entre os dias avaliados para análise no período em estudo, retornando uma taxa média de ocupação instantânea de 29,78% para as *empilhadeiras* utilizadas (variando entre duas a cinco como mostra o Apêndice D). Assim, pode-se dizer que o cenário 1.1 atendeu satisfatoriamente as *chamadas de transporte por empilhadeiras*, replicando o dia real de operação.

No cenário 2, ao simular o dia de operação 20, e ao reduzir o intervalo entre chegadas da distribuição de *chamada de transporte por empilhadeiras* em 20%, o sistema começou a demonstrar saturação para o atendimento eficiente das *chamadas*, considerando o número máximo de *chamadas* em espera, a média do número de *chamadas* não atendidas e a taxa média de utilização instantânea das *empilhadeiras*. A partir deste momento é sugerido inserir uma nova *empilhadeira*, em algum dos turnos, ou, ao longo de todo o dia de operação.

No cenário 3, ao inserir a troca de 2 pares de destinos no armazém foi possível constatar uma queda no tempo médio de pega, guarda e transporte do lote, tempo médio de espera das *chamadas* na fila e número médio de *chamadas* em espera. Observou-se uma diminuição da utilização média instantânea das *empilhadeiras* de 2,2%. Entretanto, é necessária uma análise mais minuciosa dos impactos de tais mudanças, e se estas mudanças são suportadas do ponto de vista físico e dos processos subsequentes.

Conclui-se que, apesar dos indicadores demonstrarem uma melhora, apenas foram propostos alguns cenários, sendo importante levantar outras análises, como por exemplo, se a empresa suporta a alteração do arranjo físico do armazém e, se há viabilidade econômica e financeira a tais mudanças. Uma visão holística é necessária no processo de distribuição, sendo que as mudanças locais podem apresentar melhora local, entretanto impactar negativamente em processos subsequentes.

A modelagem e simulação são ferramentas valiosas para a análise, mas são necessários conhecimentos estatísticos e específicos do funcionamento do *software* escolhido, para evitar erros e equívocos. As maiores dificuldades percebidas na modelagem e simulação

se apresentaram no tratamento dos dados, pois perceber padrões em uma diversidade de dados para uma análise coerente sem vivenciar o processo no dia a dia foi uma tarefa árdua.

Nos dois modelos propostos (Modelo A e Modelo B) fica evidente como é possível analisar o mesmo problema com abordagens diferentes, dependendo do especialista e das necessidades da análise. Os dois modelos apresentaram médias similares em seus parâmetros de saída nas simulações (diferenças entre 1%) utilizando abordagens diferentes no *software*. Houve uma divergência nos números máximos de entidades na fila e tempo máximo em espera na fila (como mostrado na seção 5.1 após a Tabela 3); o número máximo de entidades apresentou, no máximo, divergência de 2 unidades e o tempo da espera máxima não foi utilizado na análise, assim não demonstrando grandes impactos na análise final. Estas diferenças apenas em pontos máximos entre a simulação podem ser devido à aleatoriedade do sistema, gerando um ponto extremo distinto entre as abordagens, tendo em vista que as médias ficaram muito próximas entre os dois modelos.

Este estudo não teve a intenção de analisar outros recursos do processo além da utilização das empilhadeiras, limitando-se apenas a uma fábrica existente na planta, e por utilizar o *software* estudantil, teve limitações de modelagem. Por analisar o dia de operação como um todo, não captou as flutuações entre os períodos do dia que podem ocasionar picos de demanda. Além disto, o impacto das sugestões em outros processos subsequentes não foi analisado.

Para trabalhos futuros recomendam-se analisar os processos anteriores às criações *chamadas de transporte por empilhadeiras*, analisando os recursos e procedimentos como a captação dos produtos pelos operadores de carrinho de mão, o tempo de atendimento do totem e as filas nas esteiras transportadoras. Expandir a modelagem atual com as de outras fábricas na planta, assim possibilitando analisar o compartilhamento dos recursos como as *empilhadeiras* em diversas fábricas, elevando a eficiência dos recursos. Sugere-se ainda elucidar o porquê das diferenças apenas nos valores máximos do tempo de espera das *chamadas* na fila e número de *chamadas* em espera entre os modelos de simulação.

Recomenda-se utilizar o *software* de simulação em sua versão profissional (completa), para evitar limitações na modelagem, assim possibilitando tratar as entidades como produtos e não mais como *chamadas de transporte por empilhadeiras*. Outro aspecto importante consiste em analisar os períodos de picos de demanda de *chamadas* ao longo do dia de operação do armazém. Este estudo trata os turnos de trabalho como sendo inteiros com apenas uma distribuição estatística para representar as *chamadas de transporte por*

empilhadeiras do dia de operação, e assim, para refinar a análise, sugere-se a repartição dos períodos do dia para verificar a oscilação na demanda de *chamadas*, possibilitando a análise do número necessário de *empilhadeiras* nestes períodos mais curtos.

REFERÊNCIAS

ACKERMAN, K. B. **Practical Handbook of Warehousing**. 4. ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1997.

ÁLVAREZ, J. A. R. Evaluación agregada: una innovación em la gestión de inventários en una empresa de alimentos de consumo masivo. In: EIGHTH LACCEI LATIN AMERICAN AND CARIBBEAN CONFERENCE FOR ENGINEERING AND TECHNOLOGY, 2010. **Anais...** Arequipa, Peru, 2010.

ANDRADE, E. L. **Introdução a Pesquisa Operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

ANDREUZZA, M. G. S. B. **Planejamento estratégico**. SAGRES, Política e Gestão Estratégica Aplicadas, 2008. (Apostila). Disponível em: <https://www.unitins.br/Cursos/EAD/cienciascontabeis/arquivos/Referencias_Bibiligraficas.p> . Acesso em: 28 ago. 2017.

BALLOU, R. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BORSHCHEV, A; Filippov, A. **From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling**: Reasons, Techniques, Tools. Paper presented at the 22nd International Conference of the System Dynamics Society, Oxford, 2004.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

BRITO JUNIOR, I. de; SPEJORIM, W. **Gestão Estratégica de Armazenagem**. 1. ed. Curitiba: IESDE Brasil S. A., 2012.

BRUNS, R. de; SONCIM, S. P.; SINAY, M. C. F. Pesquisa operacional: uma aplicação da teoria das filas a um sistema de atendimento. In: XXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2001. **Anais...** Salvador: BA, 2001.

CAMELO, G. R. et al. Teoria das Filas e da simulação aplicada ao embarque de minério de ferro e manganês no terminal marítimo de ponta da madeira. In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente. 12 a 15 de outubro de 2010. **Anais...** São Carlos: SP, 2010.

CASTRO NETO, L. R. de. **Modelagem e simulação da cadeia produtiva do minério de ferro**. 2006. 193 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Sistemas Logísticos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CHAO, W. **Identificação de gargalos na cadeia logística utilizando técnicas de simulação: avaliação da malha de distribuição de GLP em São Paulo**. 2001. 128 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

CUNHA, A. C. et al. Modelo de gestão de estoques em uma empresa de ferragens e produtos metalúrgicos de pequeno porte. In: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2013. **Anais...** Salvador: BA, 2013.

FERREIRA, A. B. de H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 3. ed. São Paulo: Fundação Dorina Nowill para Cegos, 2009.

FERREIRA, A. B. de H. **Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

FERREIRA FILHO, Virgílio José Martins. Processos Estocásticos e Teoria das Filas. Programa de Engenharia de Produção (PEP), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

FREITAS FILHO, P. J. de. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações Arena**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

GONZALEZ, J. E.; COLLANTE, E. M. Análisis de la capacidad del proceso de cargue y descargue en la Sociedad Portuaria Regional Barranquilla (SPRB). **Revista INGE CUC**, Barranquilla, Colômbia, v. 7, n. 1, p. 17-26, 2011. ISSN 0122-6517.

HARRISON, J. Richard; LIN, Zhiang; CARROLL, Glenn R.; CARLEY, Kathleen M. **Simulation modeling in organizational and management research**. *Academy of Management Review*, v. 32, n.4, p. 1229-1245, 2007.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução a pesquisa operacional**. 9. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

LAW, A. M; KELTON, W. D. **Simulation Modeling & Analysis** . 2. ed. New York McGraw-Hill Books, 1991.

LIMA, F. S.; DÁVALOS, R. V.; GONÇALVES, M. B.; SOUZA, J. C. Modelagem e simulação de processos para entrega de Itens de assistência humanitária em desastres. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, SC, Brasil, v. 8, n. 15, p. 155-175, 2016.

MAYUR V. *et al.* Integration of COTS software products ARENA & CPLEX for an inventory/logistics problem. **Computers & Operations Research**, v. 31, p. 533–547, 2004. Doi: doi:10.1016/S0305-0548(03)00010-8.

MOHSEN K.; SAYYED M. H. E. A., SAEED R.G. Traffic simulation of two adjacent unsignalized T-junctions during rush hours using Arena software. **Simulation Modelling**

Practice and Theory, v. 49, p. 167-179, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.simpat.2014.09.006>.

MORECROFT, J. D. W.; ROBINSON, S. Explaining puzzling dynamics: comparing the use of system dynamics and discrete-event simulation. **In:** Sterman JD, Repenning MP, Langer RS, Rowe JI, Yarni, JM (eds). Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society, System Dynamics society, Boston, MA, 2005.

PESSANHA, A. M. B.; ROCHA FILHO, S. M. D.; MELO, N. A. F. de. Estudo da aplicação do software arena em um contrato de Prestação de serviço de manutenção de instrumentação. **Perspectivas online: Ciências exatas e engenharia**, Campo dos Goytacazes, n. 2, v.1, p. 30-53, 2011.

PRADO, D. S. **Usando o Arena em Simulação**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

PRADO, D. S. do. **Usando o Arena em Simulação**. 2.ed. Belo Horizonte: INDG Tecs, 2004.

PRADO, D. S. do. **Usando o Arena em Simulação**. 5.ed. Nova Lima: FALCONI Editora, 2014.

RADULESCU, A. V.; CARP CIOCARDIA, R. M. Simulation of the information flow and supply chain using arena modelling software. **In:** XX INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM, v. 20, n. 1, 2009. **Anais...** Viena: INTERNATIONAL DAAAM, 2009.

RODRIGUES, P. R. A. **Gestão Estratégica de Armazenagem**. 2. ed. São Paulo: Aduaneiras, 2003.

RUSHTON, A.; CROUCHER, P.; BAKER, P. **The Handbook of Logistics & Distribution Management**. 4. ed. Londres: Kogan Page Limited, 2010.

SAUR. **Garra para Eletrodomésticos**. Disponível em: < <http://www.saur.com.br/pt/industria/equipamentos-de-movimentacao-para-empilhadeiras-tratores-e-carregadeiras/m-garra-para-eletrdomesticos>>. Acesso em: 08 set. 2017.

SANCHES, L. M. **Análise do acúmulo da demanda logística no final do período de comercialização**: um modelo de Dinâmicas de Sistema para o setor de bens de consumo brasileiro. Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Estadual de Campinas, 2009.

SILVA, Vanina Macowski Durski. **Transporte colaborativo marítimo** : uma análise sob a ótica do método system dynamics aplicada à indústria manufatureira. 2012. 202 p. Tese (Doutorado) - Programa de Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. SC. 2012.

SLACK, N. *et al.* **Gerenciamento de operações e de processos**: princípios e práticas de impacto estratégico. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

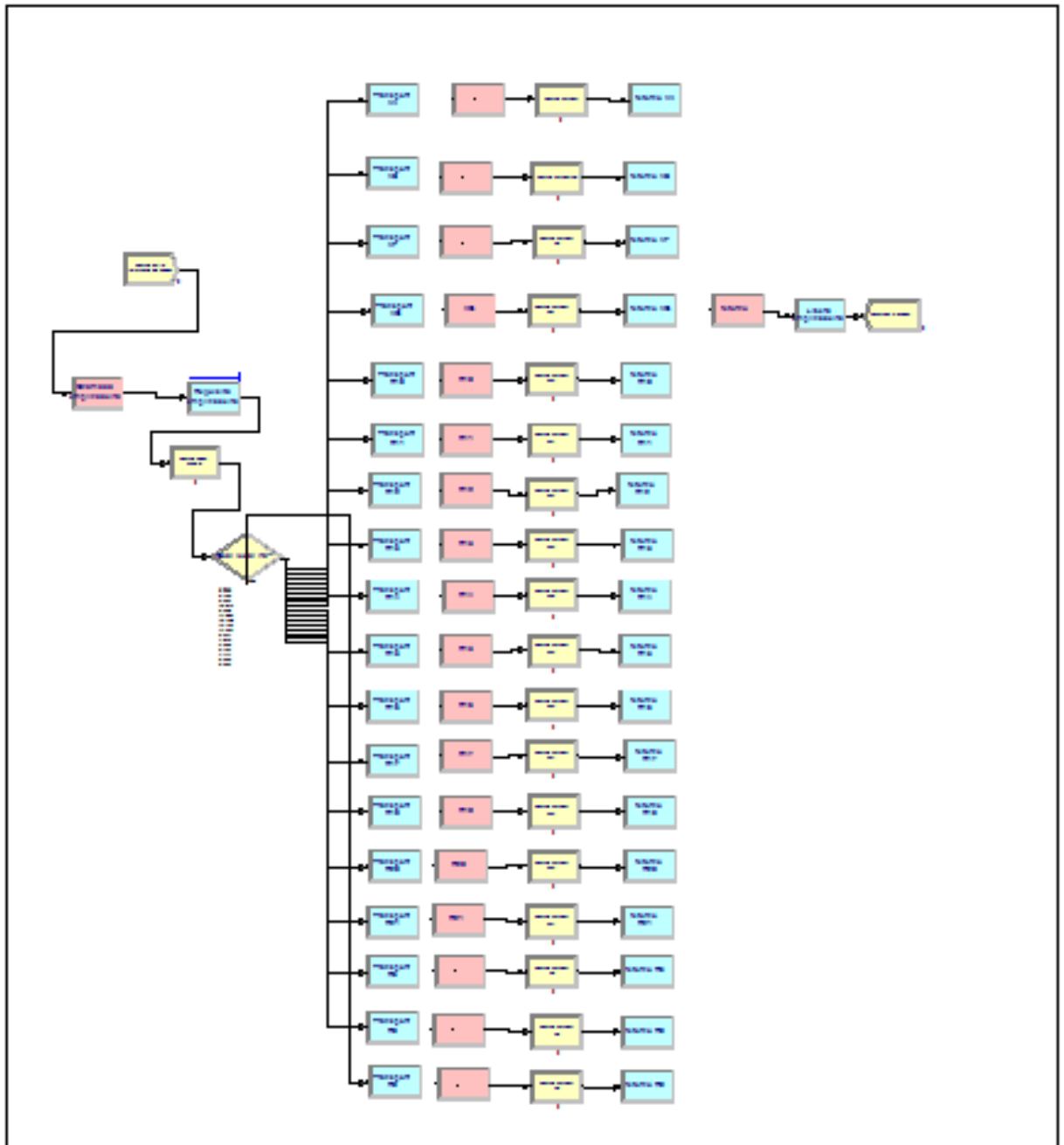
STERMAN, J. **Business dynamics**: systems thinking and modeling for a complex world. McGraw-Hill Companies: USA, 2000.

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

WANKE, P. **Gestão de estoques na cadeia de suprimentos**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

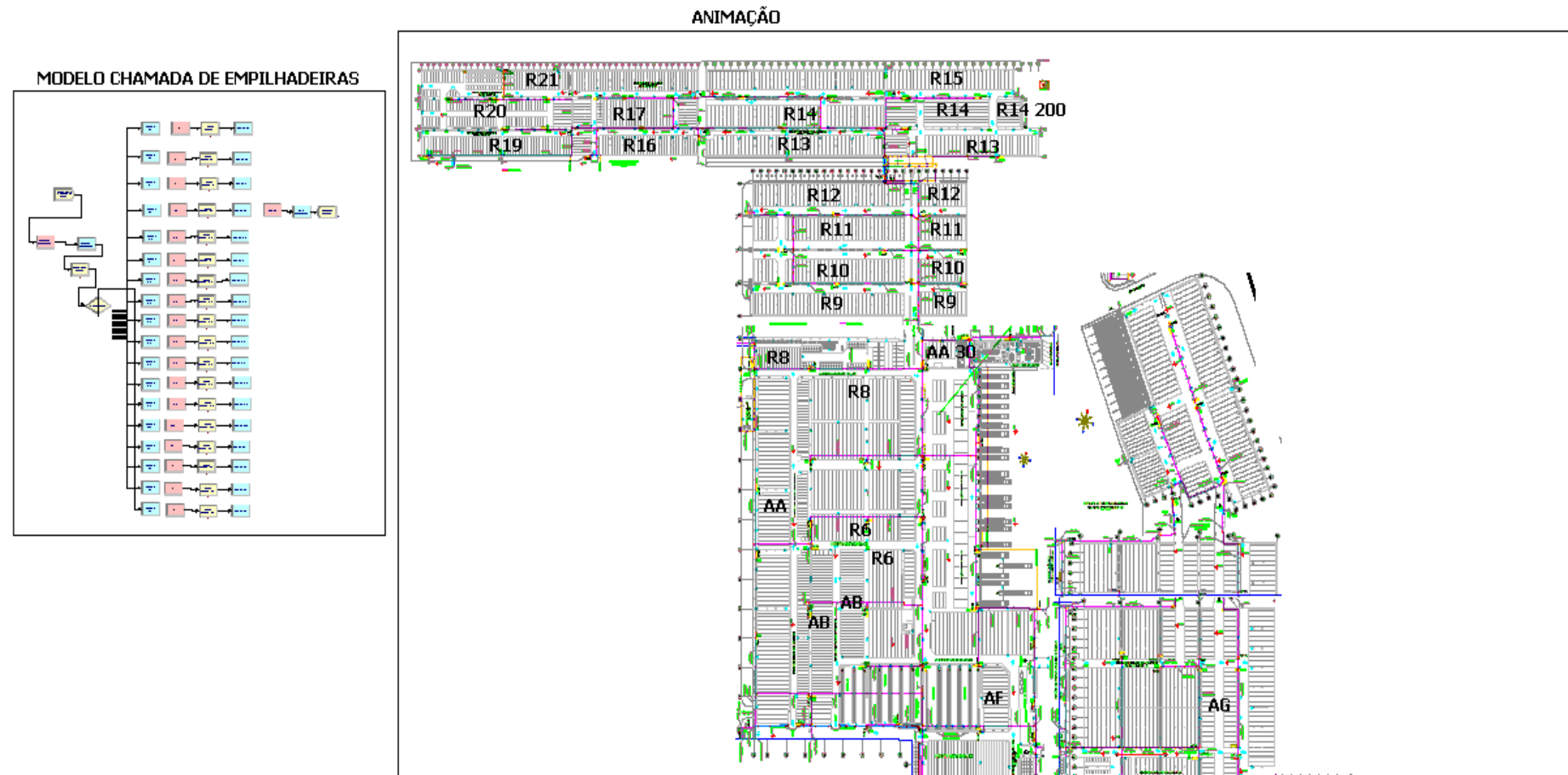
APÊNDICE A1 - Modelo A no ambiente Arena

MODELO CHAMADA DE EMPILHADEIRAS



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

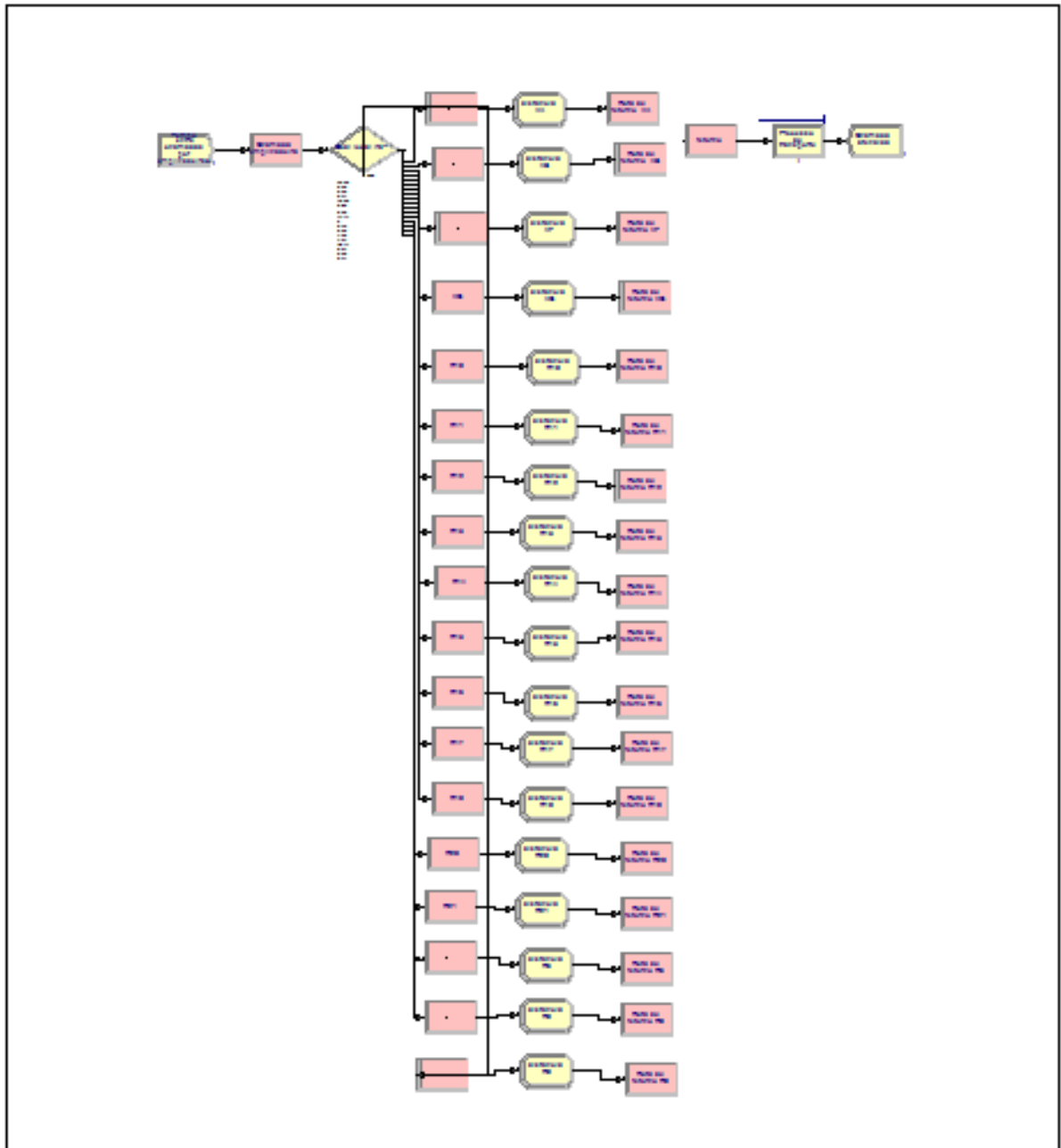
APÊNDICE A2 - Modelo A no ambiente Arena com animação



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE B- Modelo B no ambiente Arena

MODELO CHAMADA DE EMPILHADEIRAS



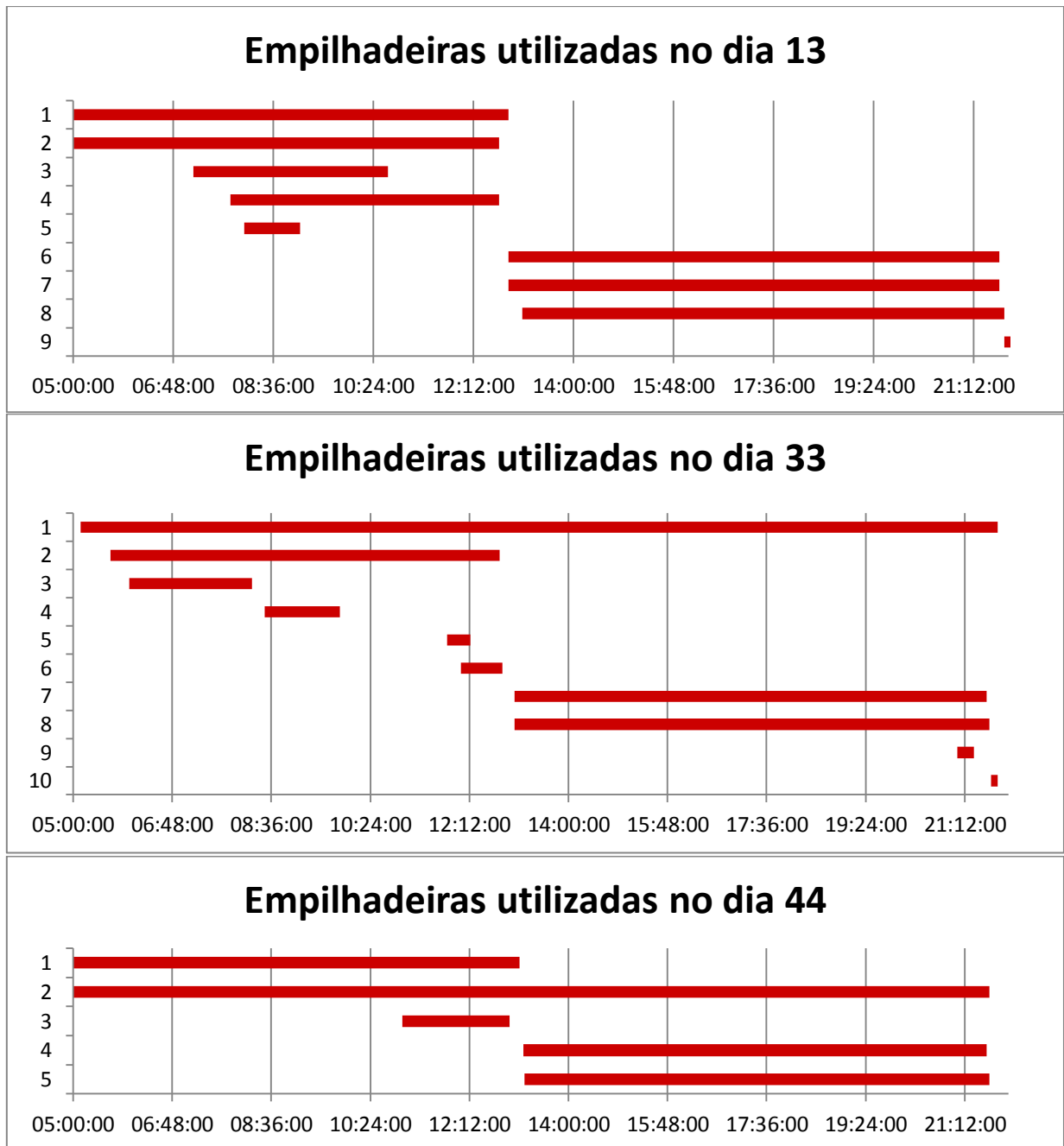
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE C - Análise exploratória dos dados dos dias de operação em estudo

Índice do dia em operação	Mês	Número de Chamadas	Número médio de chamadas simulado	Erro	Taxa de ocupação média da empilhadeira	Hora total do turno	Expressão Chamada de empilhadeira (min)	Média (min)	<i>p-value</i>
3	mês 1	201	211.00	4.74%	37.49%	20.52	56 * BETA(0.344, 3.08)	4.10	0.1530
5	mês 1	213	222.00	4.05%	48.99%	16.35	EXPO(4.63)	4.63	0.3520
6	mês 1	226	232.00	2.59%	42.94%	19.41	EXPO(5.18)	5.18	0.0200
12	mês 1	315	313.00	-0.64%	69.24%	16.24	38 * BETA(0.454, 5.11)	3.10	0.2130
13	mês 1	386	379.00	-1.85%	80.22%	16.97	21 * BETA(0.338, 2.35)	2.64	0.2200
14	mês 1	390	380.00	-2.63%	73.88%	18.54	43 * BETA(0.313, 4.4)	2.86	0.0563
17	mês 2	412	393.00	-4.83%	76.74%	16.90	23 * BETA(0.314, 2.62)	2.47	0.3980
18	mês 2	391	373.55	-4.67%	80.10%	16.75	22 * BETA(0.515, 3.73)	2.58	0.2550
20	mês 2	379	366.90	-3.30%	69.39%	19.07	98 * BETA(0.502, 15.4)	3.03	0.4550
21	mês 2	384	387.95	1.02%	64.69%	21.66	EXPO(3.39)	3.39	0.1790
22	mês 2	220	217.40	-1.20%	66.11%	10.74	EXPO(2.94)	2.94	0.1420
24	mês 2	386	391.05	1.29%	72.77%	19.41	EXPO(3.02)	3.02	0.0355
25	mês 2	378	360.35	-4.90%	76.75%	16.92	25 * BETA(0.464, 3.64)	2.69	0.0086
26	mês 2	389	393.10	1.04%	72.02%	19.66	EXPO(3.04)	3.04	0.0516
31	mês 2	389	392.95	1.01%	60.71%	23.40	EXPO(3.62)	3.62	0.0480
32	mês 2	403	417.75	3.53%	85.80%	17.17	WEIB(1.73, 0.62)	2.56	0.0243
33	mês 2	393	385.20	-2.02%	82.81%	16.67	21 * BETA(0.362, 2.62)	2.55	0.0949
35	mês 2	364	370.75	1.82%	79.13%	16.80	WEIB(1.8, 0.595)	2.78	0.0051
36	mês 2	425	420.35	-1.11%	73.16%	20.72	EXPO(2.93)	2.93	0.3590
37	mês 2	399	402.60	0.89%	81.77%	17.63	41 * BETA(0.308, 4.44)	2.66	0.0389
38	mês 2	388	387.90	-0.03%	77.08%	18.13	44 * BETA(0.325, 4.76)	2.81	0.1520
39	mês 2	354	348.30	-1.64%	76.55%	16.36	27 * BETA(0.377, 3.28)	2.78	0.0257
42	mês 3	391	390.65	-0.09%	84.76%	16.48	36 * BETA(0.281, 3.71)	2.54	0.0073
44	mês 3	380	377.35	-0.70%	81.06%	16.69	28 * BETA(0.34, 3.27)	2.64	0.0525
45	mês 3	195	194.70	-0.15%	67.55%	10.33	EXPO(3.19)	3.19	0.4790
46	mês 3	321	324.20	0.99%	58.97%	19.85	EXPO(3.72)	3.72	0.3200
47	mês 3	331	322.60	-2.60%	69.32%	16.80	30 * BETA(0.314, 2.77)	3.05	0.0700
48	mês 3	249	248.95	-0.02%	80.68%	10.95	31 * BETA(0.302, 3.23)	2.65	0.0059

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE D - Número de empilhadeiras utilizadas nos dias de operação



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).