

KEVIN AKIO NAKAKURA TEODORO

ESTUDO E APLICAÇÃO DE POLÍTICAS DE ARMAZENAGEM PARA A
OTIMIZAÇÃO DE UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da universidade de São
Paulo para a obtenção do Diploma de
Engenheiro de Produção.

São Paulo
2016

KEVIN AKIO NAKAKURA TEODORO

ESTUDO E APLICAÇÃO DE POLÍTICAS DE ARMAZENAGEM PARA A
OTIMIZAÇÃO DE UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da universidade de São
Paulo para a obtenção do Diploma de
Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Euzébio
Hernandez

São Paulo

2016

Catálogo-na-publicação

Teodoro, Kevin Akio Nakakura

Estudo e aplicação de políticas de armazenagem para a otimização de um centro de distribuição / K. A. N. Teodoro -- São Paulo, 2016.
92 p.

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

1.MOVIMENTAÇÃO e armazenagem de materiais 2.SIMULAÇÃO
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

RESUMO

Na logística, a separação de pedidos possui impacto importante no desempenho geral do processo de um armazém. Um dos principais fatores que influenciam na eficiência desse processo, é a política de armazenagem utilizada no processo de estocagem. O objetivo desse trabalho é estudar, aplicar, e analisar diferentes critérios de armazenagem sobre um caso real de centro de distribuição, pertencente a uma varejista de móveis no interior de São Paulo. Utilizando métodos de simulação computacional, foi possível mensurar indicadores de tempo, distância e produtividade para cada tipo de política de armazenagem e, dessa forma, escolher aquela que mais contribuiria para a otimização do processo de separação de pedidos como um todo. Os resultados gerais do trabalho apontam que a aplicação dessas políticas de armazenagem, sem nenhuma alteração dos processos de agrupamento de pedidos e roteirização, obtém processos de separação de pedido 18% mais produtivos em relação a quantidade de produtos expedidos por hora. Analisando os outros indicadores, fica claro que isso é uma consequência de distâncias e tempos de viagens menores.

Palavras-chave: Logística. Armazém. Separação de pedidos. Armazenagem. Política de Armazenagem. Movimentação e Armazenagem de Materiais. Simulação Computacional.

ABSTRACT

In logistics, the separation of orders has an important impact on the overall performance of a warehouse process. One of the main factors that influence the efficiency of this process is the storage policy used in the storage process. The objective of this work is to study, apply, and analyze different storage policies on a real case of distribution center, owned by a furniture retailer in the countryside of São Paulo. By using computational simulation methods, it was possible to measure time, distance and productivity indicators for each type of storage policy and, therefore, to choose which one would most contribute to the optimization of the separation process as a whole. The general results of the work show that the application of these warehousing policies, without any alteration of the ordering and routing processes, obtains order separation processes 18% more productive in relation to the quantity of products shipped per hour. Analyzing the others indicators, it is clear that this is a consequence of distances and time of smaller trips.

Keywords: Logistics. Warehouse. Order Picking. Storage. Storage Policy. Material Handling and Storage. Simulation Computing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Processo de um centro de distribuição	20
Figura 2.2 - Fluxo e funções típicas de um armazém	21
Figura 2.3 - Cenário típico de separação de ordens (blocos múltiplos)	22
Figura 2.4 - Leiaute de priorização horizontal	26
Figura 2.5 - Leiaute de priorização vertical	27
Figura 2.6 - Ilustração de um cenário de separação de ordens (esquerda) e sua representação gráfica (direita)	28
Figura 2.7 - Método S	29
Figura 2.8 - Método de retorno	29
Figura 2.9 - Exemplo de regime transitório e permanente	32
Figura 3.1 - Estrutura porta-palete	35
Figura 3.2 - Leiaute do Armazém	36
Figura 3.3 - Processo logístico interno do armazém	37
Figura 3.4 - Empilhadeira retrátil	38
Figura 3.5 - Transpaleteira manual	38
Figura 3.6 - Área de expedição	39
Figura 3.7 - Exemplo do método de retorno em roteirização	40
Figura 4.1 - Distribuição de vendas por SKU	46
Figura 4.2 - Classificação ABC por volume de vendas	47
Figura 4.3 - Classificação ABC pelo Índice COI	50
Figura 4.4 - Exemplo de políticas de armazenagem	51
Figura 5.1 - Página inicial da comunidade de respostas do Flexsim	53
Figura 5.2 - Objetos do programa de simulação do programa Flexsim	54
Figura 5.3 - Processo comercial e logístico global e fronteiras da simulação	55
Figura 5.4 - Leiaute do armazém	56
Figura 5.5 - Itens de fluxo em formato de embalagem e coloridos pela classe	57
Figura 5.6 - Itens de fluxo em formato de paletes e coloridos pela classe	57
Figura 5.7 - Objeto Rack	58
Figura 5.8 - Tabela LocSKU	59
Figura 5.9 - Armazenagem com classes baseadas em volume de vendas e priorização vertical	60

Figura 5.10 - Armazenagem com classes baseadas em volume de vendas e priorização horizontal	61
Figura 5.11 - Armazenagem com classes baseadas em COI e priorização vertical.....	62
Figura 5.12 - Armazenagem com classes baseadas em COI e priorização horizontal	62
Figura 5.13 - Armazenagem aleatória	63
Figura 5.14 - Processo de chegada de pedidos	64
Figura 5.15 - Distribuição de probabilidade de intervalo de vendas	65
Figura 5.16 - Propriedades do objeto Source	66
Figura 5.17 – Chamada da tabela Perc.....	67
Figura 5.18 - Tabela Perc	67
Figura 5.19 - Distribuição de probabilidade para número de SKUs na lista de separação	68
Figura 5.20 - Objeto Operator	69
Figura 5.21 - Cenário de simulação com os objetos Networknodes.....	70
Figura 5.22 - Área de expedição.....	71
Figura 5.23 - Conexões entre os objetos da simulação	71
Figura 5.24 - Fluxo de Flowitens.....	72
Figura 5.25 - Objeto Transporter	73
Figura 5.26 - Movimentação vertical do garfo da empilhadeira	74
Figura 5.27 - Cenário de simulação com os objetos Networknodes.....	75
Figura 5.28 - Cenário de simulação com os Networknodes para pré-picking.....	76
Figura 5.29 - Média de SKUs expedidos por hora	78
Figura 6.1 - Total de viagens por política de armazenagem	79
Figura 6.2 - Distância horizontal média por lista de separação das políticas de armazenagem	80
Figura 6.3 - Tempo médio por lista de separação das políticas de armazenagem.....	81
Figura 6.4 - Taxa de expedição por política de armazenagem	81
Figura 6.5 - Total de viagens por políticas de armazenagem.....	82
Figura 6.6 - Distância horizontal média por lista de separação das políticas de armazenagem	83
Figura 6.7 - Distância vertical por lista de separação das políticas de armazenagem	83
Figura 6.8 - Tempo médio por lista de separação das políticas de armazenagem.....	84
Figura 6.9 - Taxa de expedição para as políticas de armazenagem.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Exemplo de histórico de vendas diárias da MóveisCia	44
Tabela 4.2 - Exemplo do histórico de estoque do armazém.....	44
Tabela 4.3 - Exemplo de histórico de listas de separação	45
Tabela 4.4 - Exemplo da estimativa de posições porta-palete por SKU	48
Tabela 4.5 - Classificação ABC por índice COI	49
Tabela 4.6 - Códigos das políticas de armazenagem	52
Tabela 5.1 - Precisão para intervalo de confiança de 99%.....	78
Tabela 7.1 - Cálculo da mínima taxa de expedição diária entre os processos de pré-picking e picking para cada política de armazenagem	87

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	LOGÍSTICA E ARMAZÉM.....	19
2.2	SEPARAÇÃO DE ORDENS.....	21
2.2.1	Objetivos do sistema de separação	23
2.3	POLÍTICAS DE ARMAZENAGEM	23
2.3.1	Armazenamento Aleatório	24
2.3.2	Armazenamento Dedicado	24
2.3.3	Armazenamento Baseado em Classes	24
2.3.3.1	Leiautes do Armazenamento Baseado em Classes	25
2.3.3.1.1	<i>Armazenamento em Classes com Priorização Horizontal</i>	26
2.3.3.1.2	<i>Armazenamento em Classes com Priorização Vertical</i>	26
2.4	ROTEIRIZAÇÃO.....	27
2.4.1.1	Métodos heurísticos	28
2.4.1.2	Algoritmo de retorno.....	29
2.5	SIMULAÇÃO	30
2.5.1	Modelagem dos Dados de Entrada	30
2.5.2	Regime Transitório e Permanente	31
2.5.3	Intervalo de Confiança e Precisão	32
2.5.4	Analisando os Dados de Saída: Sistemas Terminais	33
3	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	35
3.1	ARMAZÉM E PROCESSO DE SEPARAÇÃO DE PEDIDOS	35
3.1.1	Processo Logístico Interno	36
3.2	POLÍTICA DE ARMAZENAGEM	40
3.3	POLÍTICA DE ROTEIRIZAÇÃO	40
3.4	PROBLEMA ENFRENTADO PELA EMPRESA	41
4	MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1	DADOS DA EMPRESA	43
4.2	NÚMERO DE SKUs CONSIDERADOS	45
4.3	CLASSIFICAÇÃO ABC	46
4.3.1	Classificação ABC por Volume de Vendas	47
4.3.2	Classificação ABC por Índice Cube-per-Order	48
4.3.3	Leiautes de Priorização Vertical e Horizontal	50

4.3.4	Cenários de Simulação	52
4.3.5	Código para Política de Armazenagem	52
5	SIMULAÇÃO	53
5.1	PREMISSAS GERAIS DA SIMULAÇÃO	54
5.2	CENÁRIO DE SIMULAÇÃO	55
5.3	ESTOCAGEM	56
5.3.1	Flowitens	56
5.3.2	Estrutura Porta Palete	58
5.3.3	Tabela LocSKU	59
5.3.4	Leiautes de disposição dos SKUs	60
5.3.4.1	Classificação ABC por Frequência de Vendas	60
5.3.4.1.1	<i>Priorização de Distâncias Verticais</i>	60
5.3.4.1.2	<i>Priorização de Distâncias Horizontais</i>	61
5.3.4.2	Classificação ABC por Índice Cube-per-Order	61
5.3.4.2.1	<i>Priorização de Distâncias Verticais</i>	61
5.3.4.2.2	<i>Priorização de Distâncias Horizontais</i>	62
5.3.4.3	Armazenamento Aleatório	63
5.4	VENDAS	63
5.4.1	Intervalo de Chegada de Pedidos	64
5.4.2	Entrada de Pedidos na Simulação	65
5.5	SEPARAÇÃO DE PEDIDO	68
5.5.1	Listas de Separação	68
5.5.2	Picking	68
5.5.2.1	Roteirização	69
5.5.2.2	Área de Expedição	70
5.5.2.3	Ligação dos Objetos da Simulação e Fluxo dos Flowitens	71
5.5.3	Pré-picking	72
5.5.3.1	Movimentação Vertical	74
5.5.3.2	Roteirização	74
5.5.3.3	Retorno à Área de Expedição	75
5.5.3.4	Ligação dos Objetos da Simulação e Fluxo dos Flowitens	75
5.5.3.5	Equivalência da Simulação com a Realidade	76
5.6	INDICADORES DE SAÍDA	76
5.7	TEMPO DE SIMULAÇÃO	77
5.8	REPETIÇÕES DO MODELO DE SIMULAÇÃO	78

6	RESULTADOS	79
6.1	PICKING	79
6.1.1	Total de Viagens.....	79
6.1.2	Distância Horizontal Média por Lista de Separação	80
6.1.3	Tempo Médio por Lista de Separação.....	80
6.1.4	Taxa de SKUs expedidos por hora	81
6.2	PRÉ-PICKING	82
6.2.1	Total de Viagens.....	82
6.2.2	Distância Horizontal Média por Lista de Separação	82
6.2.3	Distância Vertical Média por Lista de Separação	83
6.2.4	Tempo Médio por Lista de Separação.....	84
6.2.5	Taxa de SKUs expedidos por hora	84
7	DISCUSSÃO	87
8	CONCLUSÕES.....	89
9	REFERÊNCIAS.....	91

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo do trabalho, serão tratadas as informações da empresa estudada, o vínculo do autor com a mesma, o problema enfrentado, o objetivo do estudo e a sua justificativa.

A empresa, na qual o autor estagiou por um ano, é uma varejista de móveis que comercializa seus produtos exclusivamente por meio de canais digitais, sendo assim, um *e-commerce*. Por questões de confidencialidade, a empresa será denominada genericamente como MoveisCia.

O autor estagiou por um período de doze meses no setor de marketing da empresa. O setor de marketing não apresentou problemas solucionáveis por métodos de engenharia de produção e, por isso, o autor buscou por problemas no setor logístico da empresa.

Em relação ao setor logístico, a MoveisCia possui um centro de distribuição localizados na cidade de Itupeva, interior de São Paulo. Esse armazém ocupa uma área de 20.000m² e tem um fluxo médio de 2.000 produtos expedidos por dia. O processo de expedição de produto desse armazém não é eficiente o bastante para evitar atrasos nos pedidos. Hoje, existe uma taxa de 15% de pedidos com atrasos, sendo acima da meta estabelecido pela gerência de 5%. E, diante deste problema, a logística de separação de pedidos do armazém tornou-se o objeto de estudo deste trabalho de formatura.

De acordo com Koster (2007), separação de pedidos é definido como o processo de recuperação de bens necessários do estoque de acordo com os pedidos dos clientes. E esse processo tem sido identificado como a atividade mais trabalhosa e dispendiosa para quase todos os armazéns.

De acordo com o artigo Improving[...] (2010), um leiaute adequado e um bom controle do sistema de separação de pedidos é necessário a fim de minimizar o tempo de processamento de separação de uma ordem e ao mesmo tempo maximizar o uso do espaço, equipamentos e mão de obra. Há quatro problemas de decisão tática-operacional enfrentados pelos gestores de armazém. O primeiro é o leiaute de disposição das prateleiras. O segundo é o agrupamento de pedidos que consiste em quais pedidos serão agrupados por lista de separação. O terceiro é a política de roteirização que indica qual a sequência de pedidos deve ser seguida em uma lista de separação. E o último é a política de armazenagem que consiste em onde cada produto deve ser estocado.

Considerando a situação do armazém da empresa MóveisCia, a mudança de leiaute das prateleiras não é uma opção possível de acordo com a administração do armazém. Em relação

ao agrupamento de pedidos e política de roteirização, já existe um projeto em espera para ser implementado de otimização desses fatores, contudo, por exigir uma alta necessidade de recursos de processamento de dados e do setor de tecnologia da informação, faz com que esse projeto não tenha previsão de implementação. Já as políticas de armazenagem demandam baixo processamento de dados por serem atualizado em períodos de três a seis meses, devido à baixa variação da tendência de moda do setor moveleiro. Além disso, o sistema operacional de gestão de estoque já permite sugerir ao operador qual o lugar designado para estocar cada produto. Dessa forma, as políticas de armazenagem foram escolhidas como tema deste trabalho de formatura devido a sua viabilidade de implementação em curto prazo no armazém.

De acordo com Koster (2007), os produtos precisam ser colocados em locais de armazenagem antes de serem comprados pelos clientes. Política de armazenagem é um conjunto de regras que podem ser usados para atribuir produtos a locais de armazenagem.

A partir da revisão da literatura, foram levantadas as políticas de armazenagem relevantes para o armazém. E para cada uma delas foi criado um modelo de simulação computacional para replicar seu desempenho. Além disso, a simulação será utilizada para determinar qual a combinação de fatores que fornecem as menores distâncias (horizontais e verticais), o menor tempo de separação de cada lista de separação e a maior taxa de expedição de produtos. Os experimentos foram repetidos até se alcançar o intervalo de confiança de 99% para os indicadores selecionados. Em posse dos resultados, foi escolhida a política de armazenagem que apresentou os maiores ganhos em produtividades em relação a política atual.

Portanto, o objetivo deste trabalho é simular e selecionar a melhor política de armazenagem para minimização das distâncias e dos tempos necessário no processo de separação do armazém pertencente a empresa MoveisCia, buscando, assim, o aumento da produtividade em expedição de produtos.

As justificativas deste estudo vão além dos ganhos produtivos e econômicos gerados pelas políticas de armazenagem para a empresa. Por atuar no setor varejista moveleiro, os atrasos em entregas influenciam diretamente na insatisfação dos clientes. Dessa forma, uma vez minimizando ou até zerando a taxa de atrasos do armazém, a qualidade do serviço oferecido pela MoveisCia aumentaria e, assim, resultando em clientes mais satisfeitos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nos tópicos abaixo, é apresentada a revisão da literatura sobre o tema de logística, armazém, separação de ordens (order picking), políticas de armazenagem (storage assignment), roteirização (routing) e de simulação computacional.

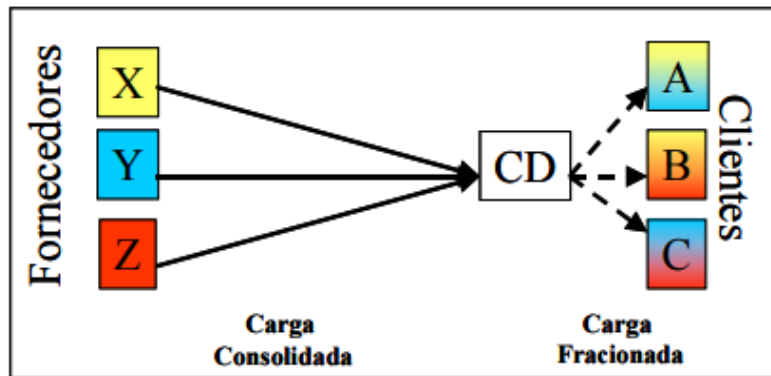
2.1 LOGÍSTICA E ARMAZÉM

Segundo Lambert et al. (1998), o termo Logística pode ser entendido como o gerenciamento do fluxo de bens ou materiais do ponto de origem até o ponto de consumo ou, em alguns casos, até o ponto de descarte. Nos últimos anos, o gerenciamento efetivo desse fluxo caracterizou-se como uma importante fonte de aumento da lucratividade e da competitividade das empresas através da redução de custos logísticos.

Ainda de acordo com os autores, o fluxo de bens ou materiais é composto por 14 atividades, sendo as principais: relação com fornecedores, previsão e planejamento da demanda, manuseio de materiais, processamento de pedido, transporte, armazenamento e logística reversa. O armazenamento (warehousing) tornou-se uma das funções logísticas mais importantes dentro das empresas nos últimos anos, sendo um importante conector entre produtores e consumidores. Essa atividade é responsável pela armazenagem de produtos entre pontos de origem e consumo, bem como nos mesmos.

De acordo com Barros (2005), um Centro de Distribuição (CD) é um armazém que tem por objetivo realizar a gestão dos estoques de mercadorias na distribuição física. Em geral este armazém recebe cargas consolidadas de diversos fornecedores. Estas cargas são então fracionadas com intuito de consolidar os produtos em quantidade e variedade corretas, para depois serem encaminhadas aos pontos de vendas, ou em alguns casos aos clientes finais, conforme a Figura 2.1.

Figura 2.1 – Processo de um centro de distribuição

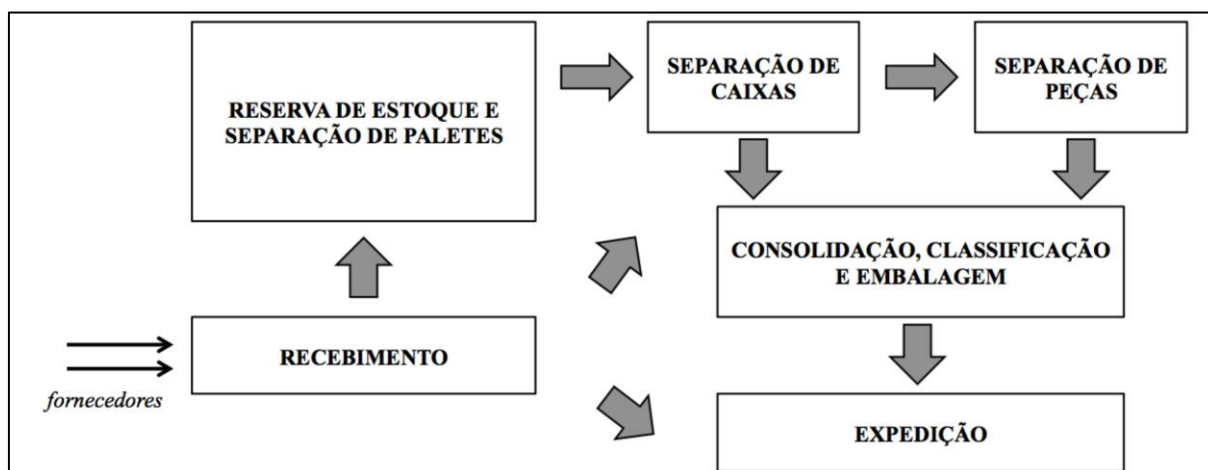


Fonte: Extraída de Barros (2005)

A Figura 2.2 mostra as principais atividades e fluxo dentro de um armazém. Segundo Lambert et al. (1998), um armazém possui 3 funções básicas: movimentação, armazenagem e transferência de informação. A primeira delas pode ser dividida em 5 subatividades:

- recebimento: inclui o descarregamento do veículo, entrada do estoque nos dados da empresa, inspeção do produto e conferência de notas;
- transporte: movimentação física dos produtos para armazenagem e entre áreas do armazém;
- separação de ordens: coleta e agrupamento (quando necessário) dos produtos de acordo com os pedidos dos clientes;
- cross-docking*: movimentação de produtos direto da área de recebimento para a área de expedição;
- expedição: movimentação física e sistêmica (abatimento do estoque) e conferência de ordens que serão expedidas.

Figura 2.2 - Fluxo e funções típicas de um armazém



Fonte: Adaptada de Tompkins et al.(2003)

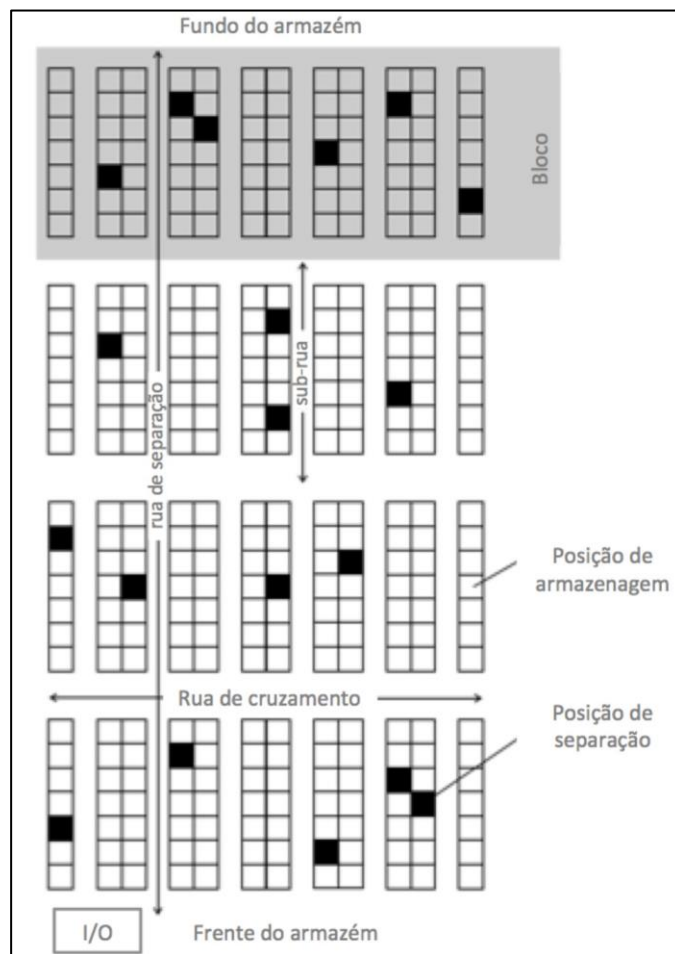
2.2 SEPARAÇÃO DE ORDENS

A separação de ordens (OP) é considerada uma das atividades básicas de um sistema logístico e pode ser definida como a atividade na qual um pequeno número de produtos é extraído de um armazém para satisfazer um certo número de ordens de clientes (GOESTSCHALCKX; ASHAYERI, 1989).

Segundo Goetschalckx e Ashayeri (1989), o processo de extração dos produtos consiste em identificar o produto, selecioná-lo dentre os disponíveis, retirá-lo e embalá-lo. Uma ordem é uma lista de produtos solicitados onde cada linha refere-se a um único SKU (*stock keeping unit* – em português, unidade de manutenção de estoque) e à quantidade requerida do mesmo (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007). Em geral, cada ordem requer apenas uma pequena porcentagem do total de produtos disponíveis no armazém.

Roodbergen (2001) descreve um cenário típico de separação de ordens, o qual pode ser visto na Figura 2.2. O armazém é retangular, sem espaço não utilizado e composto por algumas ruas de separação paralelas (*pick aisle*). O mesmo é dividido em blocos e cada bloco possui sub-ruas, que são partes de uma rua de separação dentro de um bloco. Na frente, no fundo e entre os blocos, há ruas de cruzamento (*cross aisle*), que não possuem posições de armazenagem, mas podem ser utilizadas para passar de uma rua para outra. O separador pode caminhar por qualquer uma das ruas de separação e de cruzamento. Na Figura 2.3, cada quadrado é uma posição de armazenagem e os quadrados pretos indicam as posições que precisam ser acessadas.

Figura 2.3 - Cenário típico de separação de ordens (blocos múltiplos)



Fonte: Adaptada de Roodbergen (2001)

Como parte de uma cadeia logística, as operações de separação de pedidos têm um impacto importante na performance geral da cadeia. Qualquer ineficiência no processo pode gerar nível de serviço insatisfatório e elevados custos operacionais para o armazém e, consequentemente, para toda a cadeia (LE-DUC, 2005). Segundo Goetschalckx e Ashayeri (1989), essa é uma atividade que demanda grande quantidade de recursos (financeiros e pessoais) em sistemas tanto manuais quanto automatizados.

Dessa forma, a separação de ordens é considerada a atividade mais importante quando se busca aumento de produtividade em um armazém e, por isso, o processo deve ser cuidadosamente desenhado e controlado (LE-DUC, 2005).

2.2.1 Objetivos do sistema de separação

Segundo Goetschalckx e Ashayeri (1989), o objetivo mais comum de um sistema de separação de ordens é a maximização do nível de serviço dadas as restrições de recursos como pessoas, máquinas e capital. Apesar de haver diversas definições, pode-se determinar o nível de serviço através do tempo médio de ciclo de uma ordem, que é o tempo decorrido entre a geração da ordem pelo cliente até o momento em que o produto é entregue ao mesmo. Uma relação crucial entre separação de ordens e nível de serviço é que quanto mais rápido uma ordem pode ser retirada de sua posição, mais cedo ela estará disponível para ser expedida ao cliente. Portanto, minimizar o tempo de separação de ordem (*picking time*) é uma necessidade para qualquer sistema de separação de ordens (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007).

O principal componente do tempo de separação de ordem é o tempo de deslocamento, que, para sistemas manuais de separação, é uma função crescente da distância de deslocamento. Na literatura de separação de ordens, há dois tipos de distância de deslocamento mais utilizados: a distância média de um ciclo de separação (*average tour length*) e a distância total de deslocamento (*total travel distance*) (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007).

2.3 POLÍTICAS DE ARMAZENAGEM

Os produtos precisam ser colocados em locais de armazenamento antes de serem comprados pelos clientes. Política de armazenamento é um conjunto de regras que podem ser usados para atribuir produtos a locais de armazenagem. (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007).

Política de armazenamento é o fator mais influente no desempenho de separação de pedido. Muitos fatores influenciam a localização dos produtos no armazém. Por exemplo, o método de coleta de pedidos, tamanho e leiaute do sistema de armazenamento, manuseamento de materiais do sistema, características do produto, as tendências de demanda, as taxas de volume de negócios e requisitos de espaço. A seleção de critérios de armazenamento adequada ajuda a melhorar o desempenho do processo de separação de pedidos. (IMPROVING...,2010)

As políticas de critérios de armazenamento que atribuem produtos para locais de armazenamento geralmente caem em três grandes categorias: de armazenamento aleatório, de armazenamento dedicado e de armazenamento baseada em classes (HAUSMAN, 1976).

2.3.1 Armazenamento Aleatório

Para o armazenamento aleatório, a cada paleta de entrada (ou quantidade de produtos semelhantes) é atribuído um local no armazém que é selecionado aleatoriamente a partir de todos os locais vazios elegíveis com igual probabilidade. O método de atribuição aleatória resulta em uma alta utilização de espaço (ou uma baixa necessidade de espaço) à custa do aumento da distância de rota. (CHOE, 1991)

2.3.2 Armazenamento Dedicado

Armazenamento aleatório e dedicado são, na verdade casos extremos da política de armazenamento de classe. Armazenamento aleatório tem todos os produtos em uma única classe e armazenamento dedicado tem cada um dos produtos atribuídos a uma classe separada. (IMPROVING...,2010)

No armazenamento dedicado cada produto tem um local fixo de estocagem. Uma desvantagem de armazenamento dedicado é que o local é reservado mesmo para os produtos que estão fora de estoque. Além disso, é necessário reservar o espaço suficiente para o a quantidade máxima de cada produto. Assim, a utilização do espaço é a menor entre todas as políticas de armazenagem. Uma vantagem é a familiarização dos separados com os locais de cada produto. (DE KOSTER, 2001)

2.3.3 Armazenamento Baseado em Classes

O conceito de armazenamento baseado em classes combina alguns dos métodos até agora mencionados. No controle de estoque, uma forma clássica para dividir os itens baseados em popularidade é pelo método de Pareto. A ideia é a de agrupar produtos em classes, de tal maneira que a classe de movimento mais rápido contém apenas cerca de 5% dos produtos armazenados, mas contribui com cerca de 85% do volume de vendas. Cada classe é então atribuída a uma área específica do armazém. O armazenamento dentro de cada área é aleatório. As classes são determinadas por alguma medida de frequência tais como de COI ou volume de separação. Os itens rápidos são geralmente chamados de itens A. A categoria seguinte mais rápida é chamada de itens B, e assim por diante. Muitas vezes, o número de classes é limitado a três, embora em alguns casos mais classes podem dar ganhos adicionais no diz respeito aos tempos de viagem. (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007)

A vantagem desta política é que os produtos em movimento rápido podem ser armazenados perto do depósito, enquanto a flexibilidade e alta utilização de espaço da política de armazenamento aleatório são aplicáveis. (IMPROVING...,2010)

Por outro lado, a atribuição de armazenamento no sistema selecionador por partes é essencialmente dividida em dois aspectos, por (1) produtos e (2) os pedidos dos clientes. Para os produtos, Brynzér e Johansson (1996) apontou que o armazenamento baseado em classes de acordo com as características do produto pode aumentar a precisão e, assim, reduzir o tempo de recuperação dos pedidos. Eles enfatizaram que as pessoas devem considerar tempo de recuperação da ordem de pedido e distância de viagem como duas diferentes medidas de desempenho para separação de pedidos. No entanto, sua pesquisa não investiga mais profundamente a relação entre o tempo de recuperação da ordem e distância percorrida. Por outro lado, Vickson e Lu (1998) mostrou que o armazenamento baseado em classes de acordo com o volume de negócios dos produtos pode melhorar a acessibilidade dos itens em movimento rápido para os operadores. Eles usaram a análise Cube-per-Order Index (COI) que é proposto por Heskeet (1963). O COI de um produto é definido como a relação de espaço necessário total do produto para o número de viagens necessárias para satisfazer sua demanda por período. O algoritmo consiste em localizar os produtos com o menor COI (isto é, taxas mais elevadas de vendas ou exigências previstas) mais próximo para o depósito. Como resultado, o tempo de recuperação da ordem é diminuída. (IMPROVING...,2010)

Mansuri (1997) comparou a eficácia das políticas de atribuição de armazenagem aleatórias, dedicados e com base em classes. Os resultados das simulações mostraram que o armazenamento dedicado ajuda a maximizar o rendimento do sistema, o armazenamento aleatório ajuda a maximizar a utilização do espaço de armazenagem e o armazenamento baseado em classe maximiza o rendimento enquanto apresenta uma ocupação de espaço próxima da aleatória.

2.3.3.1 Leiautes do Armazenamento Baseado em Classes

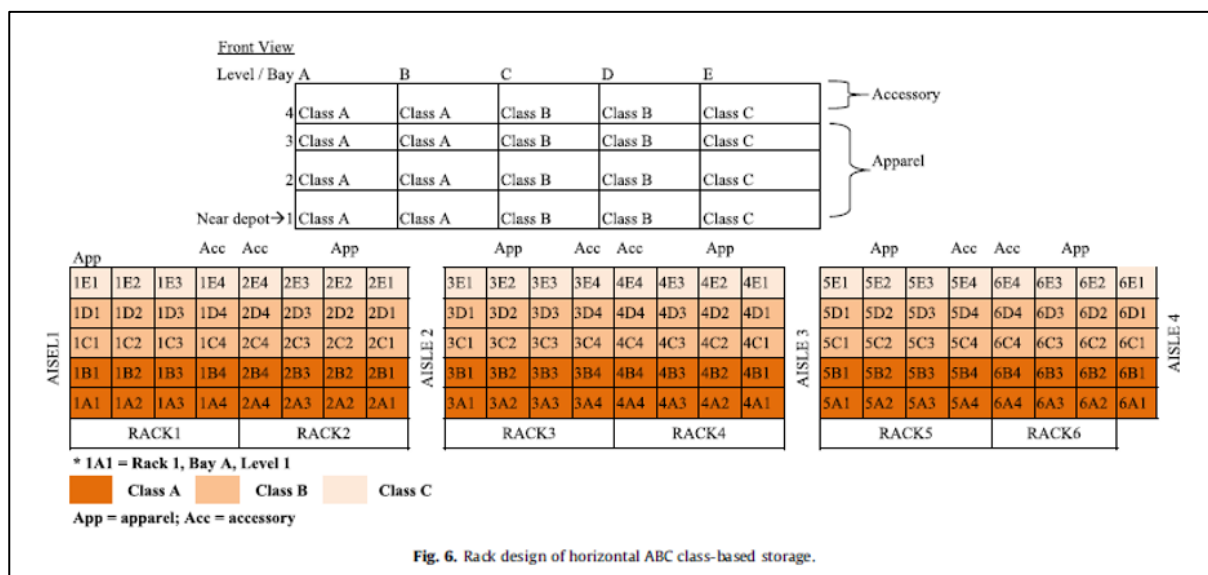
No armazenamento baseado em classes, os produtos foram classificados para se priorizar alguma característica do produto. Assim, para essa priorização ser efetiva, são necessários leiautes que disposição nas estruturas porta-paleta das áreas de cada classe. Como visto anteriormente, a distância percorrida por viagem é um dos indicadores mais relevantes no

processo de separação. Assim, os leiautes de classe priorizam as distâncias horizontais ou as verticais.

2.3.3.1.1 Armazenamento em Classes com Priorização Horizontal

A atribuição de armazenamento baseada em classes horizontal é comumente usada em armazéns de racks com apenas um nível. Em primeiro lugar, as classes são determinadas por algum indicador e os que forem considerados rápidos são armazenados mais próximos da área de expedição, para que a distância horizontal seja minimizada. (IMPROVING...,2010). Ela é ilustrada na Figura 2.4.

Figura 2.4 - Leiaute de priorização horizontal

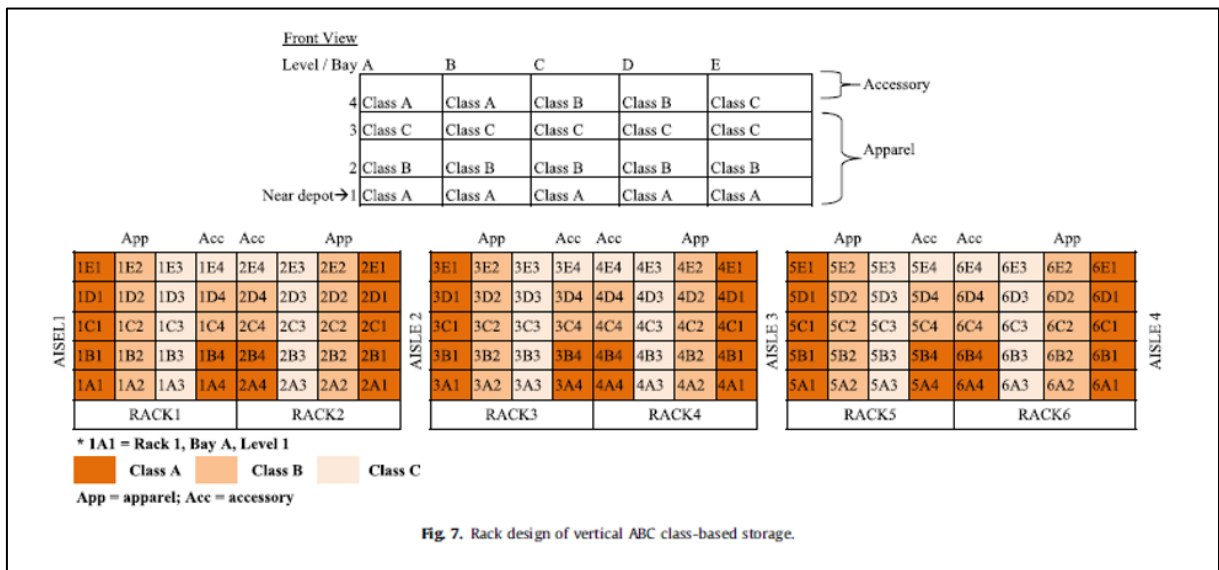


Fonte: Adaptada do artigo Improving[...] (2010)

2.3.3.1.2 Armazenamento em Classes com Priorização Vertical

Diferente do armazenamento baseado em classes horizontal, os itens de movimento rápido (ou seja, itens A) são armazenados em níveis inferiores das prateleiras (ou seja, nível um e nível dois) no armazenamento baseado em classes vertical. A chance de os separadores pegarem os itens armazenados no nível mais alto dos racks é reduzida e, assim, reduzindo o tempo de recuperação do pedido. Normalmente, é mais indicada para armazéns com racks multi-níveis. (IMPROVING...,2010). Ela é ilustrada na Figura 2.5.

Figura 2.5 - Leiaute de priorização vertical



Fonte: Adaptada do artigo Improving[...] (2010)

2.4 ROTEIRIZAÇÃO

O principal objetivo dos métodos de roteirização é determinar a rota mais curta para coleta dos itens que compõem uma lista de separação. Esse problema é considerado um caso especial do Problema do Caixeiro Viajante (PCV) (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007; ROODBERGEN, 2001).

Os métodos de roteirização podem ser divididos em duas categorias. A primeira é composta pelos métodos que determinam as rotas mais curtas, chamados métodos ótimos. A segunda é composta pelos métodos que determinam rotas factíveis, mas não necessariamente a mais curta (ROODBERGEN, 2001). Apesar da existência de métodos ótimos, na prática, os problemas de roteirização são, normalmente, solucionados por métodos heurísticos devido a: não haver um método ótimo para todos os tipos de leiaute; nem sempre as rotas são triviais para os separadores, que acabam desviando da rota proposta; o padrão de métodos ótimos não leva em consideração o congestionamento de ruas (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007).

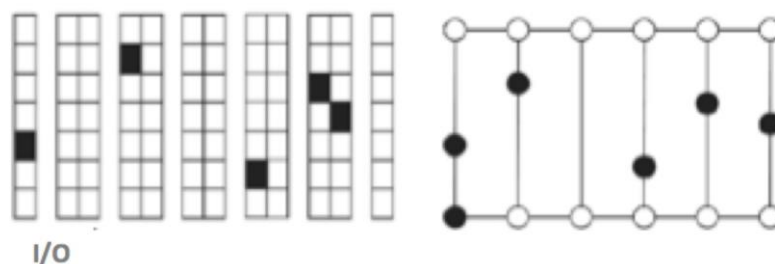
Por fim, como um dos fatores que influenciam o tempo necessário para a separação de ordens, os estudos de roteirização são, normalmente, separados em dois grupos: armazéns com bloco único (*one-block layout*), os mais analisados na literatura, e armazéns com dois ou mais blocos (*multiple-block layout*) (ROODBERGEN, 2001). Além disso, dependendo da largura das ruas e a estratégia de roteirização, deve-se decidir entre: separação de lado único (*single-sided picking*), quando o separador coleta itens de apenas um lado da rua, e separação de ambos os

lados (*double-sided picking*), quando o separador coleta itens dos dois lados da rua ao mesmo tempo (GOETSCHALCKX; RATLIFF, 1988;ROODBERGEN, 2001).

Segundo Roodbergen (2001), leiautes de bloco único são os mais estudados na literatura e, por isso, diversos métodos de operação já foram testados para esse cenário. Apesar de existir um algoritmo ótimo eficiente, apresentado por Ratliff e Rosenthal (1983), em alguns casos práticos ainda é recomendada a utilização de métodos heurísticos devido à adaptabilidade e facilidade de entendimento dos mesmos.

Um exemplo desse tipo de leiaute e sua representação gráfica é mostrado na Figura 2.6. Cada quadrado é uma posição de armazenagem e os quadrados pretos indicam as posições que precisam ser acessadas (posições de separação e ponto de origem/destino)

Figura 2.6 - Ilustração de um cenário de separação de ordens (esquerda) e sua representação gráfica (direita)

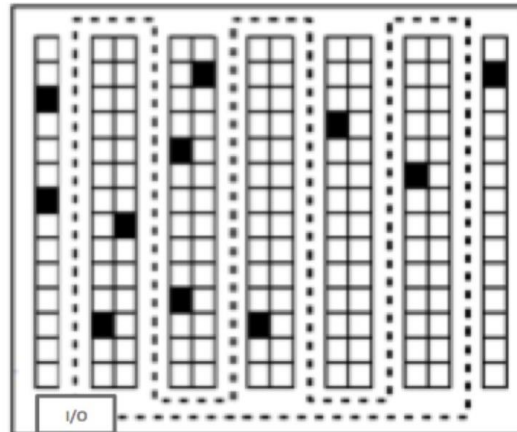


Fonte: Adaptado de De Koster, Le-Duc e Roodbergen (2007).

2.4.1.1 Métodos heurísticos

O método S (ou transversal) é uma das estratégias mais simples de roteirização de separadores. Qualquer rua que contenha pelo menos um item a ser separado é atravessado, ou seja, acessada por um lado e abandonada pelo lado oposto. Após a coleta de todos os itens, o separador retorna a seu ponto de origem. Um exemplo dessa rota é apresentado na Figura 2.7.

Figura 2.7 - Método S

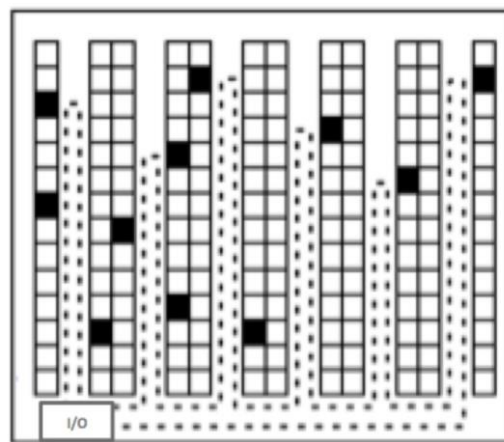


Fonte: Adaptado de Roodbergen (2001)

2.4.1.2 Algoritmo de retorno

No método de retorno, todas as ruas que possuem itens a serem separados são acessadas e abandonadas pelo mesmo lado. Um exemplo dessa rota é apresentado na Figura 2.8

Figura 2.8 - Método de retorno



Fonte: Adaptado de Roodbergen (2001)

Por esse método ser tão simples de implementar e usar quanto o método S, a decisão sobre qual deve ser utilizado é dependente da decisão entre separação de lado único ou ambos os lados. O método S é mais apropriado para separação de ambos os lados, já que as ruas são acessadas apenas uma vez. Já o método de retorno é mais apropriado para separação de lado único.

2.5 SIMULAÇÃO

A simulação pode ser definida como uma técnica que imita o funcionamento de um sistema do mundo real à medida que evolui ao longo do tempo. Isso normalmente é feito através do desenvolvimento de um modelo de simulação. Um modelo de simulação geralmente assume a forma de um conjunto de hipóteses sobre o funcionamento do sistema, expressa como relação entre os objetos de interesse no sistema. (WINSTON, 2003)

Segundo Forrester (1968), sistema é um agrupamento de partes que operam juntas, visando a um objetivo em comum.

Os sistemas podem ser classificados em discreto e contínuo. Um sistema discreto é aquele no qual as variáveis mudam apenas em pontos contáveis de tempo. Um sistema contínuo é aquele no qual o estado das variáveis muda constantemente todo o tempo. (WINSTON, 2003)

Além disso, existem dois tipos de modelos de simulação: Estático e dinâmico. O modelo de simulação estático é a representação do sistema em um ponto específico no tempo, denominada usualmente de simulação de Monte Carlo. Uma simulação dinâmica é a representação de um sistema que evolui ao longo do tempo. (WINSTON, 2003)

Uma simulação também pode ser determinística, quando não existem variáveis aleatórias, ou estocásticas, quando existem um ou mais variáveis aleatórias. (WINSTON, 2003)

De acordo com Winston (2003), o procedimento de gerar tempos de chegadas por distribuições de probabilidade é conhecido como método de Monte Carlo.

2.5.1 Modelagem dos Dados de Entrada

Chamamos de modelos de entrada os modelos probabilísticos responsáveis por representar a natureza aleatória de um dado fenômeno; e, de modelagem de dados o processo de escolher a melhor representação deste fenômeno. (MEDINA; CHWIF, 2010)

O estudo de modelagem de dados pode ser resumido em 3 etapas: Coleta de Dados, tratamento de dados e inferência. (MEDINA; CHWIF, 2010)

A primeira etapa, coleta de dados, corresponde ao chamado processo de amostragem. Na maioria dos casos, é impraticável realizar-se o levantamento de dados de toda a população. Uma amostra é um conjunto de valores retirados da população de interesse, utilizada para representar

a população no estudo estatístico, Nesta etapa, o objetivo é garantir que a amostra obtida seja a mais representativa possível do fenômeno. (MEDINA; CHWIF, 2010)

No passo seguinte, tratamento de dados, são utilizadas técnicas para descrever os dados levantados, identificar as possíveis falhas nos valores amostrados e aumentar nosso conhecimento acerca do fenômeno em estudo. (MEDINA; CHWIF, 2010)

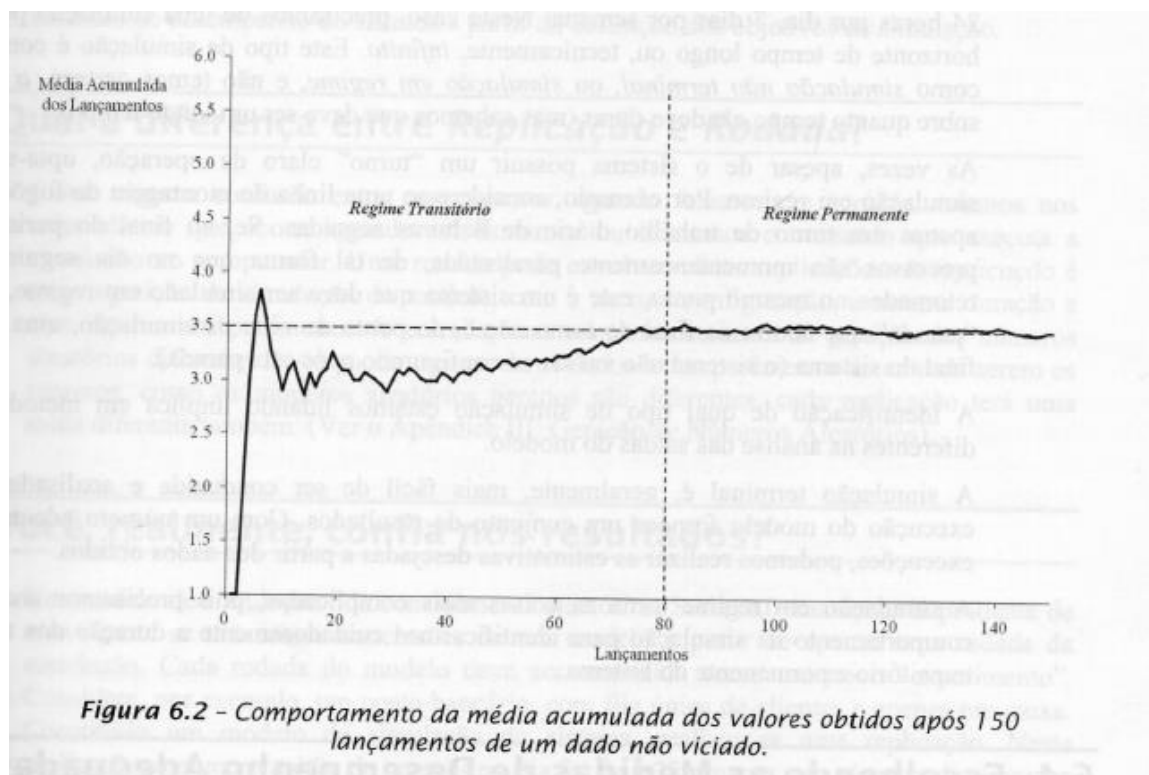
A terceira etapa, inferência, aplica os conhecimentos do Cálculo de Probabilidades para inferir qual o comportamento da população a partir da amostra. Como resultado, teremos um modelo probabilístico (isto é, uma distribuição de probabilidades) que representará o fenômeno aleatório em estudo e será incorporado ao modelo de simulação. (MEDINA; CHWIF, 2010)

2.5.2 Regime Transitório e Permanente

De acordo com Medina e Chwif (2010), o Regime transitório é o período em que a resposta do sistema é amplamente afetada pelas condições iniciais nas quais ele se encontra. Quando tais condições perdem a influência sobre o resultado do sistema, diz-se que o regime permanente foi alcançado. Como as condições iniciais do sistema não são constantes, elas mudam toda vez que um processo é iniciado, portanto, não é possível tirar conclusões universais sobre o comportamento de um sistema a partir do estudo de seu regime transitório. Então, é claro que se deve estudar o regime permanente para se obter os melhores e mais corretos resultados a respeito de um sistema. Na Figura 2.9, é possível perceber o que é denominado um regime transitório e um regime permanente.

Além disso, Medina e Chwif (2010) diz que a fim de se avaliar adequadamente o regime permanente, alguma das técnicas a seguir deve ser utilizada: fazer a análise da resposta por muito tempo, assim, as contribuições do regime transitório para o resultado final podem ser desconsideradas. A segunda alternativa seria encontrar alguma técnica a qual permita a eliminação da resposta transitória do sistema. Por fim, pode-se adotar condições iniciais específicas que propiciem o sistema alcançar o regime permanente direto.

Figura 2.9 - Exemplo de regime transitório e permanente



Fonte: Extraída de Medina e Chwif (2010)

2.5.3 Intervalo de Confiança e Precisão

Um modelo de simulação lida com números aleatórios. Seria extremamente imprudente de nossa parte se tirássemos conclusões de um modelo a partir de apenas uma rodada de simulação. Cada rodada do modelo deve ser entendida como um novo “experimento”. (MEDINA; CHWIF, 2010)

Quando falamos de confiança estatística, estamos nos referindo ao intervalo de confiança, ou seja, um intervalo de valores desta probabilidade, maior a confiança estatística de que a média da população se encontra nesse intervalo construído. Já quando falamos em precisão, estamos nos referindo ao tamanho do intervalo, pois nada adianta uma alta confiança estatística se o tamanho do intervalo é tão grande que não podemos concluir nada sobre a média da população. (MEDINA; CHWIF, 2010)

Um intervalo de confiança $100(1 - \alpha)\%$ para a média de uma população é construído através da equação (DEVORE, 2000):

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

ou:

$$\bar{x} \pm t_{n-1, \alpha/2} S / \sqrt{n}$$

onde:

\bar{x} é a média da amostra;

$h = t_{n-1, \alpha/2} S / \sqrt{n}$ é a metade do tamanho do intervalo de confiança, aqui denominada precisão;

$t_{n-1, \alpha/2}$ é o $(1 - \alpha/2)$ percentil da distribuição t de Student com n-1 graus de liberdade.

S é o desvio-padrão da amostra;

n é o número de dados da amostra.

2.5.4 Analisando os Dados de Saída: Sistemas Terminais

De acordo com Medina e Chwif (2010), os sistemas terminais são aqueles que têm um momento exato no tempo para finalizar a simulação. Este tipo de sistema dois valores precisam ser determinados: a duração da simulação e o número de repetições.

Ainda de acordo com o autor, a duração da simulação é determinada pela duração do período de operação do próprio sistema real. A análise de dados de sistemas terminais por ser dividida em 7 etapas:

1. Estabelecer as medidas de desempenho adequadas;
2. Escolher a confiança estatística e a precisão com que se pretende trabalhar;
3. Definir, a partir da observação do sistema real, o tempo de simulação;
4. Determinar o número de replicações necessárias;
5. Rodar o modelo novamente;
6. Calcular o novo intervalo de confiança.

3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

3.1 ARMAZÉM E PROCESSO DE SEPARAÇÃO DE PEDIDOS

Primeiramente, o termo em inglês Stock Keeping Unit (SKU) será muito utilizado nesse estudo, sendo necessário a sua definição. SKU em português significa unidade de manutenção de estoque, ou seja, são os códigos de identificação dos produtos estocados.

O estudo em questão foi desenvolvido no armazém de um *e-commerce* de móveis localizado no interior de São Paulo. A empresa conta com um portfólio com mais de 100.000 SKUs (fornecedores nacionais e internacionais), que são revendidos em sua plataforma online via estoque (quando disponível) ou via crossdocking (pedido direto ao fornecedor). A empresa conta com um armazém principal onde todos os pedidos de compra (fornecedores) são recebidos, armazenados, processados e expedidos.

Assim como ocorreu com o termo SKU, é necessário definir e exemplificar uma estrutura porta-paleta. Uma estrutura porta-paleta, ilustrada na Figura 3.1, é uma estrutura metálica que permite a estocagem de paletes em alturas variáveis.

Figura 3.1 - Estrutura porta-paleta

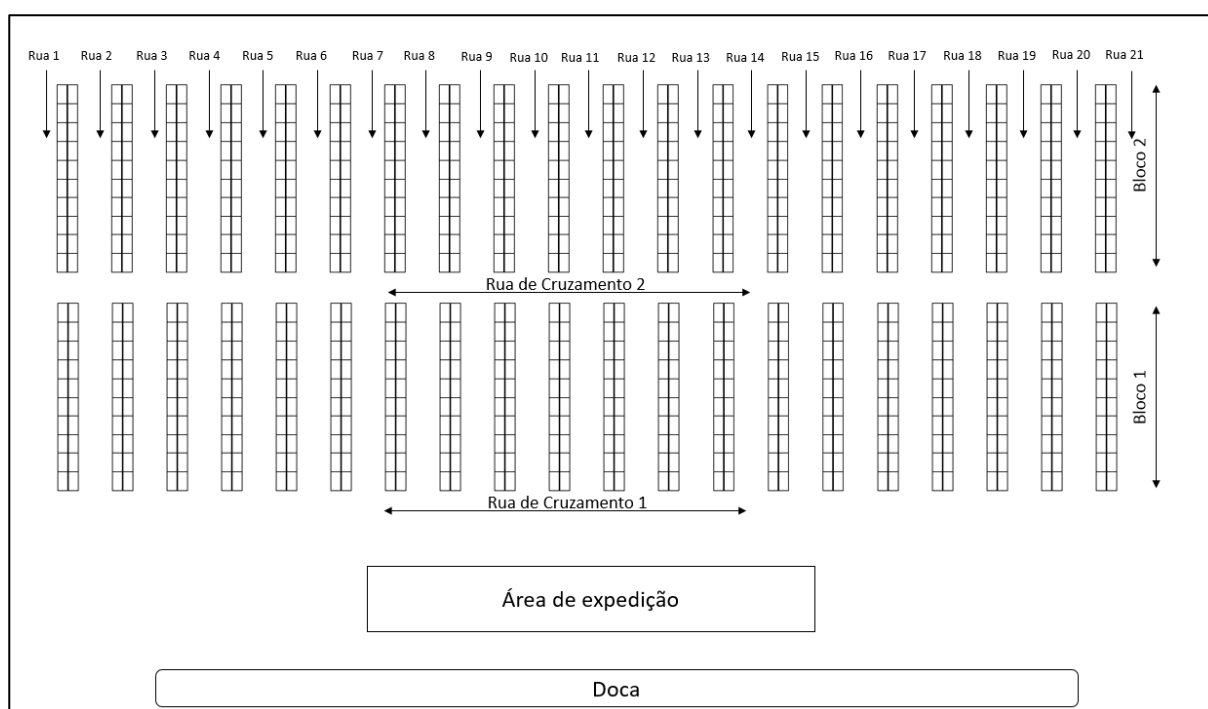


Fonte: Site de soluções industriais

O armazém possui, aproximadamente, 20.000m² distribuídos entre as áreas de recebimento e movimentação de crossdocking, expedição e armazenagem. Essa última é composta por 6.000

posições porta-paleta, sendo 5.000 posições em andares elevados (dividas em 5 andares) e 1000 posições de separação (nível 0 – chão). Cada posição porta-paleta possui volume de estocagem de 8 m³, podendo conter até dois paletes de dimensões 1 m x 2,2 m. As estruturas são divididas em dois blocos (bloco 2 posicionado ao fundo do armazém e bloco 1 posicionado próximo à área de expedição) e 21 ruas de separação, cada uma com 5,0 m de largura. Além disso, há duas ruas de cruzamento, uma posicionada entre blocos 1 e 2 e outra entre bloco 2 e a área de expedição (não é possível a mudança de rua pelos fundos do armazém). Uma representação gráfica do leiaute é mostrada na Figura 3.2 - Leiaute do Armazém

Figura 3.2 - Leiaute do Armazém

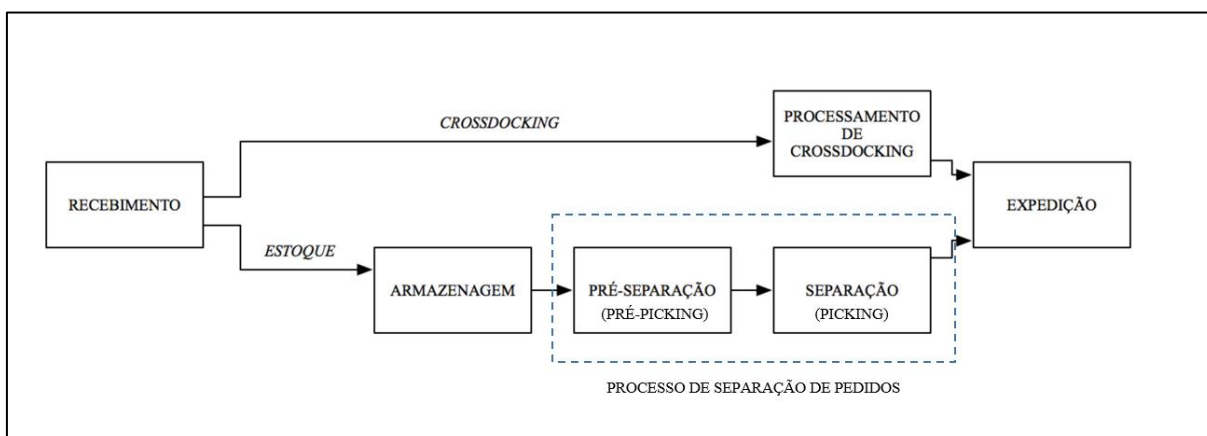


Fonte: Elaborada pelo autor

3.1.1 Processo Logístico Interno

Uma representação gráfica do fluxo logístico interno do armazém é esquematizada na Figura 3.3.

Figura 3.3 - Processo logístico interno do armazém



Fonte: Elaborada pelo autor

Como visto na Figura 3.3, a primeira etapa do processo logístico interno é a de recebimento, na qual produtos a serem armazenados ou já vendidos (crossdocking) são descarregados, inspecionados e segregados. Os produtos já vendidos são processados (embalados e/ou etiquetados) e encaminhados para a expedição. Os produtos não vendidos são encaminhados para a etapa de armazenagem. Nessa etapa, há a montagem de paletes (unidade de armazenagem) que, em seguida, são transportados por empilhadeiras até sua posição de destino e, por fim, a movimentação é registrada no sistema de gestão de estoque.

Conforme as vendas são confirmadas na plataforma online, os pedidos dos clientes são atrelados a produtos em estoque (quando disponível) e o setor logístico é informado sobre os detalhes do pedido, ou seja, produto(s), quantidade(s), endereço(s) (localização nas estruturas de armazenagem) e prazo. Nesse momento, há o início da etapa de separação de pedidos.

Primeiramente, ocorre a geração das listas de separação, segregadas por transportadora e a atribuição de seus responsáveis.

Em posse das informações referentes a diversas ordens (pedidos de clientes) geradas durante o dia, inicia-se a etapa de pré-separação (pré-picking) em que paletes que possuem algum item a ser separado são movimentadas dos andares superiores das estruturas porta-paleta para o chão. Esse processo é realizado com operador controlando uma empilhadeira retrátil, ilustrada pela Figura 3.4.

Figura 3.4 - Empilhadeira retrátil



Fonte: Site da fabricante Toyota

Após essa etapa, ocorre o processo de separação (picking). Cada separador, munido de seu aparelho coletor de dados, percorre as ruas do armazém seguindo a sequência proposta pelo sistema (apontada na tela do coletor), retira os itens do palete de origem e o deposita sobre seu transportador (transpaleteira manual), ilustrado na Figura 3.5.

Figura 3.5 - Transpaleteira manual



Fonte: Site da fabricante Toyota

Ambos os processos (pré-picking e picking) ocorrem simultaneamente em dois turnos de 8 horas. A diferença está na sincronia dos processos. O pré-picking sempre processa pedidos que

serão separados no dia seguinte enquanto o picking processa pedidos que foram pré-separados no dia anterior, ou seja, apesar de simultâneos, o pré-picking está sempre adiantado em relação ao picking.

Por fim, os itens separados são levados ao setor de expedição, onde são novamente armazenados e aguardam a chegada dos caminhões das transportadoras. Na Figura 3.6, é possível ver a área de expedição e as estruturas porta-paleta ao fundo.

Figura 3.6 - Área de expedição



Fonte: Fotografada pelo autor

Na última etapa, itens separados do estoque e itens de crossdocking (já processados) passam pelo processo de embarque, no qual os pedidos são conferidos e colocados em caminhões de transportadoras para que sejam entregues ao cliente final.

Além dos processos mencionados, ocorre durante o terceiro turno (madrugada) o processo de pós-picking no qual todos os paletes são movimentados do chão para suas respectivas posições de armazenagem.

No centro de distribuição, a coleta de pedidos é realizada de forma manual com o auxílio de carrinho, sendo classificada como manual-pick. As estruturas porta-paleta possuem 6 níveis, como visto na Figura 3.6, por isso sendo denominada um multi-level rack.

3.2 POLÍTICA DE ARMAZENAGEM

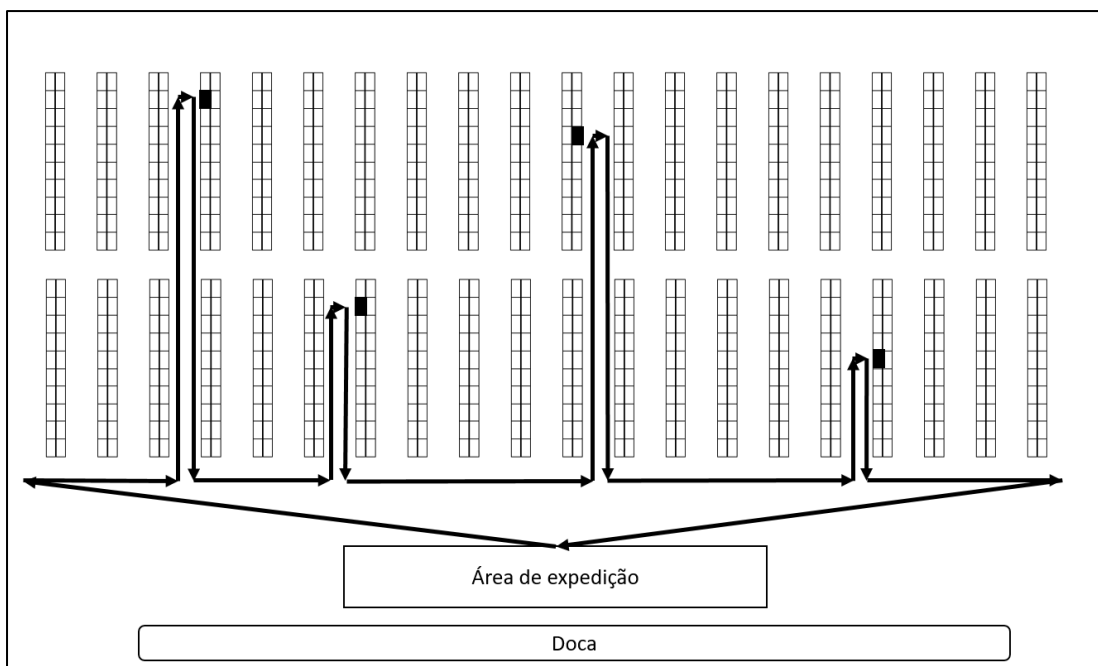
Como mencionado na revisão da literatura, política de armazenamento é um conjunto de regras que podem ser usados para atribuir produtos a locais de armazenagem.

Hoje, a política de armazenagem do armazém é aleatória, ou seja, os SKUs recebidos são guardados em qualquer posição disponível escolhida pelo operador. As posições escolhidas devem respeitar algumas restrições do sistema como elevação máxima das empilhadeiras e fragilidade dos produtos. Existe a possibilidade de o sistema de gestão de estocagem sugerir em qual posição porta-paleta o operador deveria armazenar os SKUs. Contudo, como a política atual é aleatória, esse recurso não é utilizado.

3.3 POLÍTICA DE ROTEIRIZAÇÃO

Em relação a política de roteirização, o armazém utiliza o método de retorno tanto no processo de pré-picking quanto no processo de picking. Tanto a empilhadeira quanto o separador entram e saem de cada rua pelo mesmo lado. Apenas as ruas com paletes para serem movimentados ou itens para serem recolhidos são visitadas. Para esclarecimento do método, foi criado o exemplo ilustrado pela Figura 3.7, na qual as setas representam a rota realizada por um separador para recolher os itens representados pelos retângulos pintados de preto.

Figura 3.7 - Exemplo do método de retorno em roteirização



Fonte: Elaborada pelo autor

3.4 PROBLEMA ENFRENTADO PELA EMPRESA

Atualmente, o armazém não consegue alcançar a meta de apenas 5% de atrasos na expedição de pedidos, pois apresenta uma taxa média de 15%. Assim, o problema enfrentado pela empresa MoveisCia é a alta taxa de atrasos na expedição de pedidos.

De acordo com o artigo Improving[...] (2010), um leiaute adequado e um bom controle do sistema de separação de pedidos é necessário a fim de minimizar o tempo de processamento de separação de uma ordem e ao mesmo tempo maximizar o uso do espaço, equipamentos e mão de obra. Há quatro problemas de decisão tática e operacional enfrentados pelos gestores de armazém. O primeiro é o leiaute de disposição das prateleiras. O segundo é o agrupamento de pedidos que consiste em quais pedidos serão agrupados por lista de separação. O terceiro é a política de roteirização que indica qual a sequência de pedidos deve ser seguida em uma lista de separação. E o último é a política de armazenagem que consiste em onde cada produto deve ser estocado.

Em relação ao leiaute, a gerência do armazém inviabilizou mudanças na disposição das estruturas porta-palete, pois necessitariam de muitos dias de paralização das operações de expedição.

Em relação ao agrupamento de pedidos e a política de roteirização, já existe um projeto de otimização para elas, desenvolvido por um engenheiro de produção da empresa. Esse projeto foi sugerido há mais de um ano e ainda não foi implementado, pois demandaria recursos do setor de TI que, atualmente, estão alocados em outros projetos com maior prioridade.

Já as políticas de armazenagem demandam baixo processamento de dados por serem atualizado em períodos de três a seis meses, devido à baixa variação da tendência de moda do setor moveleiro. Além disso, o sistema operacional de gestão de estoque já permite sugerir ao operador qual o lugar designado para estocar cada produto. Dessa forma, as políticas de armazenagem foram escolhidas como tema deste trabalho devido a sua viabilidade de implementação à curto prazo no armazém.

Portanto, os métodos e simulações desenvolvidos nesse trabalho tratam de selecionar a melhor política de armazenagem para minimizar as distâncias e os tempos necessários no processo de separação desse armazém, buscando o aumento de produtividade na expedição de pedidos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo deste trabalho será alcançado pelos seguintes passos:

1. Classificação dos itens em 3 classes (A,B,C) pela frequência de venda e pelo índice Cube-per-Order (COI).
2. Alocação dos SKUs nos três tipos de leiautes possíveis: Aleatório, Priorização Vertical, Priorização Horizontal.
3. Simulação dos 5 diferentes cenários possíveis para os processos de pré-picking e de picking.
4. Análise dos resultados dos indicadores de distâncias, tempos e produtividade para selecionar a melhor política de armazenagem que solucione ou diminua o problema de atrasos na expedição de pedidos.

Ao todo, dez modelos de políticas de armazenagem foram montados para os processos de pré-picking e picking. A simulação será utilizada com o propósito de mensurar os impactos das diferentes políticas de armazenagem sobre a produtividade do processo de separação de pedidos. O software Flexsim foi utilizado para construir a modelagem e, assim, ser possível mensurar os indicadores relevantes para este trabalho.

4.1 DADOS DA EMPRESA

A empresa disponibilizou três relatórios essenciais para a aplicação dessa metodologia. O primeiro deles, exemplificado pela Tabela 4.1, é a base de dados com as vendas diárias realizadas pela MoveisCia nos meses de Julho, Agosto e Setembro do ano de 2016.

Tabela 4.1 - Exemplo de histórico de vendas diárias da MóveisCia

Pedido	Data	Código SKU	Quantidade	Receita
706672788	01/07/2016	KA161CL79GSQMOB	2	4.461,8
709214788	01/07/2016	RU994CL60TNRMOB	1	3.153,8
709592788	01/07/2016	RU994CL97XTAMOB	1	2.990,3
701762788	01/07/2016	MC926CH21EJEMOB	7	2.646,0
709882788	01/07/2016	SO600UP75UKIMOB	1	2.319,8
704984788	01/07/2016	DA006UP58DERMOB	1	2.255,8
708222788	01/07/2016	KA161CL79GSQMOB	1	2.194,2
706552788	01/07/2016	RU994CL31GGAMOB	1	2.163,3
709734788	01/07/2016	MO921UP55LEQMOB	1	2.125,0

A segunda base de dados, exemplificada pela Tabela 4.2, contém a descrição dos SKUs em estoque e sua quantidade por dia no mesmo período da base anterior.

Tabela 4.2 - Exemplo do histórico de estoque do armazém

Data	Código SKU	Quantidade	Volume (m³)
01/07/2016	AB011CH46NEFMOB	2	0,74727
01/07/2016	AB011CH47NEEMOB	1	0,74727
01/07/2016	AB011CH60AHZMOB	1	0,74727
01/07/2016	AB011CH81NCWMOB	1	0,57475
01/07/2016	AB011CH82GJLMOB	5	1,94481
01/07/2016	AB011CH83GJKMOB	10	1,94481
01/07/2016	AB011CH91NCMMOB	1	0,48654
01/07/2016	AB011CH97NCGMOB	1	0,48654
01/07/2016	AB011CH98NCFMOB	1	0,48654

A terceira base de dados, exemplificada pela Tabela 4.3, contém os pedidos de separação diárias utilizados pelos separadores no mesmo período das bases anteriores.

Tabela 4.3 - Exemplo de histórico de listas de separação

Lista de				
Data	Separação	Pedido	Posição	Código SKU
01/07/2016	195930	442165836	B15-0	BO645AC77YKGMOB
01/07/2016	195930	443643836	A17-0	BY230UP31MJOMOB
01/07/2016	195930	443643836	B19-0	CA380AC32JTJMOB
01/07/2016	195930	443753836	C18-0	AM155UP18HBTMOB
01/07/2016	195930	443753836	F14-0	AM155UP37IJU
01/07/2016	195930	443753836	F14-0	BA782AC12QEHTMOB
01/07/2016	195930	443753836	F27-0	ME339AC85XBEMOB
01/07/2016	195930	443753836	F27-0	MO061AC77PQKMOB
01/07/2016	195930	443877836	B15-0	MO061TA82XVX

A partir da base de vendas e de estoque foi realizada a classificação ABC por frequência de vendas e por COI. Assim, na etapa de simulação, utilizou-se o histórico de vendas para gerar a distribuição probabilística de entradas de pedidos no armazém e o histórico de estoque para mensurar o espaço necessário para cada SKU. Por fim, foi usado o histórico de listas de separação para gerar a distribuição probabilística de número de SKU que separador carrega por viagem.

4.2 NÚMERO DE SKUs CONSIDERADOS

Apesar da empresa ter 100.000 produtos diferentes no portfólio, apenas 11.000 foram vendidos no período estudado. Desses 11.000 produtos, apenas 3.700 foram efetivamente estocados, pois os outros 8.300 passaram por Crossdocking.

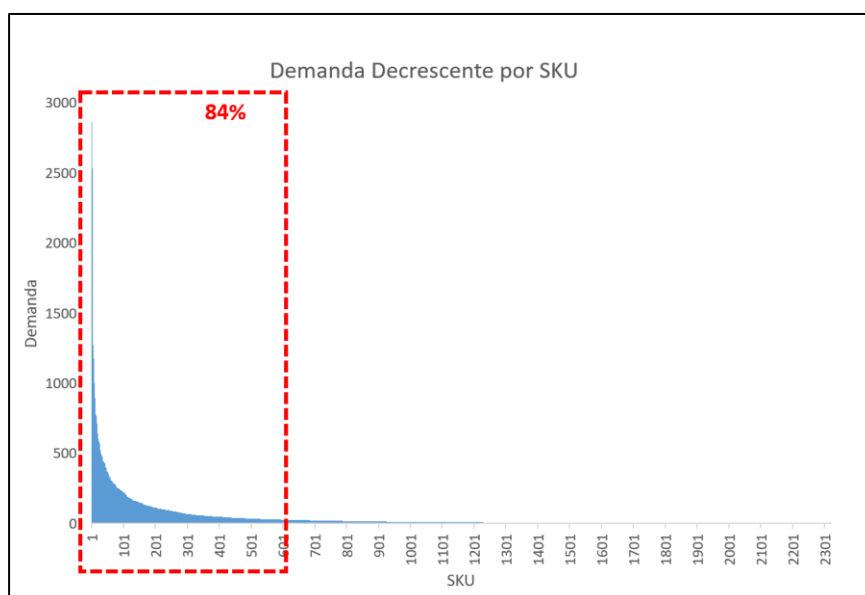
Por limitações do software de simulação, foram considerados apenas 2000 posições porta-paleta. Considerando que as novas políticas de armazenagem permitem apenas ter um tipo de SKU por posição porta-paleta, foram estimados quantos SKUs são necessários para preencher essas posições. A partir da base de estoque, foi calculada a média de unidades de cada SKU em estoque. Multiplicando pelos seus volumes específicos e dividindo pela área de uma posição porta-paleta (8 m³), é possível aproximar o número de posições paleta necessárias para armazená-los. Assim, chegou-se à quantidade de 600 SKUs. Portanto, os 600 SKUs mais

vendidos pela empresa, que são efetivamente estocados, preenchem as 2.000 posições palete simuladas.

Por conveniência de visualização, os SKUs serão representados por uma sequência numérica crescente na qual o primeiro número representa o SKU com maior volume de venda no período de estudo, e o segundo representa o SKU com o segundo maior volume de vendas e, assim, sucessivamente.

A representatividade de volume de vendas dos 600 SKUs analisados é de 84% das vendas em relação ao total de 2318 SKUs que são estocados, ilustrado pela Figura 4.1.

Figura 4.1 - Distribuição de vendas por SKU



Fonte: Elaborada pelo autor

4.3 CLASSIFICAÇÃO ABC

Dentre as três políticas de armazenagem mostradas na revisão da literatura, a melhor para o caso do armazém em estudo é a política baseada em classes. Isso porque o armazém não possui espaço suficiente para adotar a política de armazenagem dedicada, considerando os volumes máximos de cada SKU, e a armazenagem aleatória, atualmente, não consegue corresponder as metas de tempo do armazém.

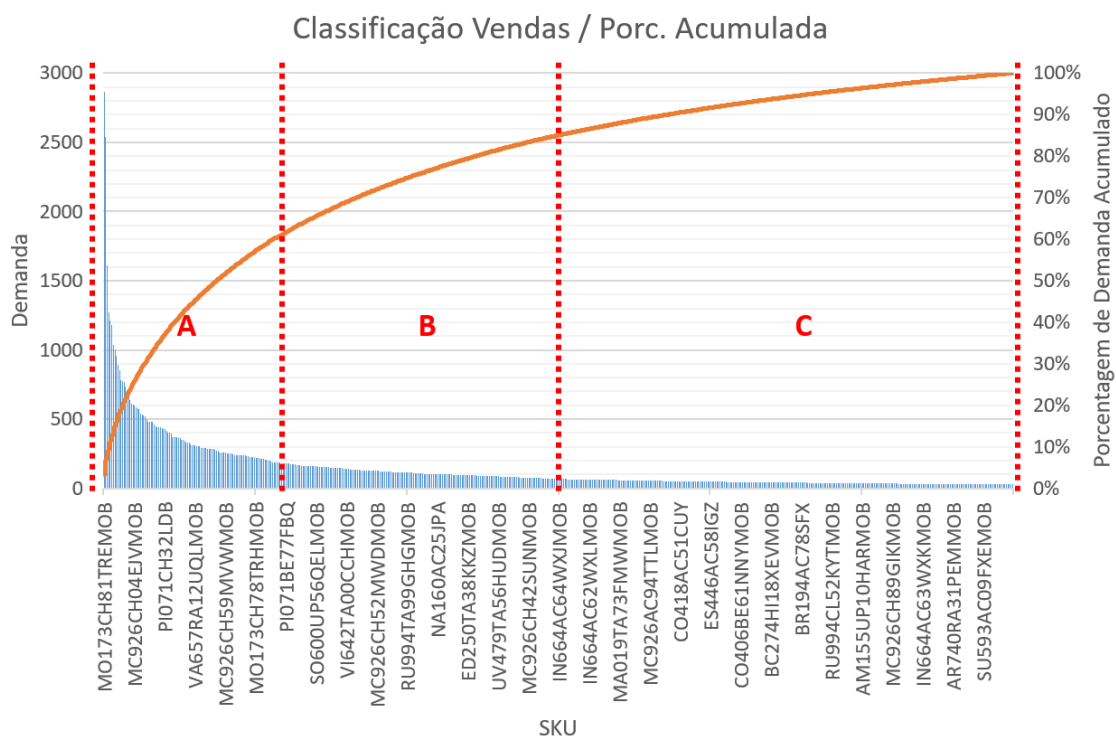
Como citado na revisão da literatura, a classificação ABC é usada para priorizar os elementos de acordo com sua representatividade em determinado indicador. Nesse estudo, utilizou-se os indicadores de volume de vendas e o índice Cube-per-Order(COI). Resumidamente, o COI

utiliza a frequência de vendas, mas também considera o espaço necessário de armazenamento de cada SKU.

4.3.1 Classificação ABC por Volume de Vendas

A partir da base de dados de vendas, foi possível compreender a distribuição dos 600 SKU mais vendidos nos três meses analisados.

Figura 4.2 - Classificação ABC por volume de vendas



Fonte: Elaborada pelo autor

A curva de distribuição mostra uma alta concentração de vendas em poucos SKU, indicando o uso da proporção de Pareto. Como é notável na Figura 4.2, a classe A, de movimentação rápida, possui 20% dos SKU (120) e representatividade de 62% do volume de vendas. Já a Classe B, de movimentação mediana, possui 30% dos SKU (180) e uma representatividade de 23% de volume de vendas. E por fim, a classe C, movimentação lenta, possui 50% dos SKU (300) e uma representatividade de 15% do volume de vendas.

Utilizando-se da base de estoque foi possível estimar a quantidade média de cada SKU no estoque no período de estudo. Multiplicando pelo volume unitário, chegou-se o volume que cada SKU necessita no armazém. Considerando que cada posição porta-paleta só recebe um

tipo de SKU e tem 8m³ de volume, foi possível mensurar o número de posições paletes para cada SKU dividindo o volume total necessário pelo volume de cada posição porta-paleta. A

Tabela 4.1, ilustra esse cálculo.

Tabela 4.4 - Exemplo da estimativa de posições porta-paleta por SKU

SKU	Volume por Unid. (m ³)	Pedidos	Volume Total de Armazenagem	Posições Porta- Paleta
MO173CH81TREMOb	0,03	2868	74,98176	9
MC926CH93GIGMOB	0,08	2538	195,4204	24
MO173CH80TRFMOB	0,13	1609	213,2099	27
MC926CH88GILMOB	0,15	1272	184,7642	23
MO173CH00TQLMOB	0,02	1212	20,71372	3
MC926CH18QPTMOB	0,05	1177	61,26468	8
MC926CH05EJUMOB	0,25	1038	261,9394	33
JA046CH93THYMOB	0,21	1005	215,9258	27
MO912UP74RYVMOB	0,05	957	48,0979	6

Assim, pela classificação ABC por volume de frequência, a classe A necessita de 868 posições paleta, a classe B, 661 e a classe C, 471, somando, ao todo, 2.000 posições.

4.3.2 Classificação ABC por Índice Cube-per-Order

Como visto na revisão da literatura, Cube-per-Order ou COI é a razão da média de volume necessário para armazenar cada SKU pela sua respectiva quantidade de vendas no período estudado. Os produtos com menores COI são priorizados. A Tabela 4.5, ilustrado o cálculo do COI, ao se dividir a coluna “Volume Total de Armazenagem” pela coluna “Pedidos”.

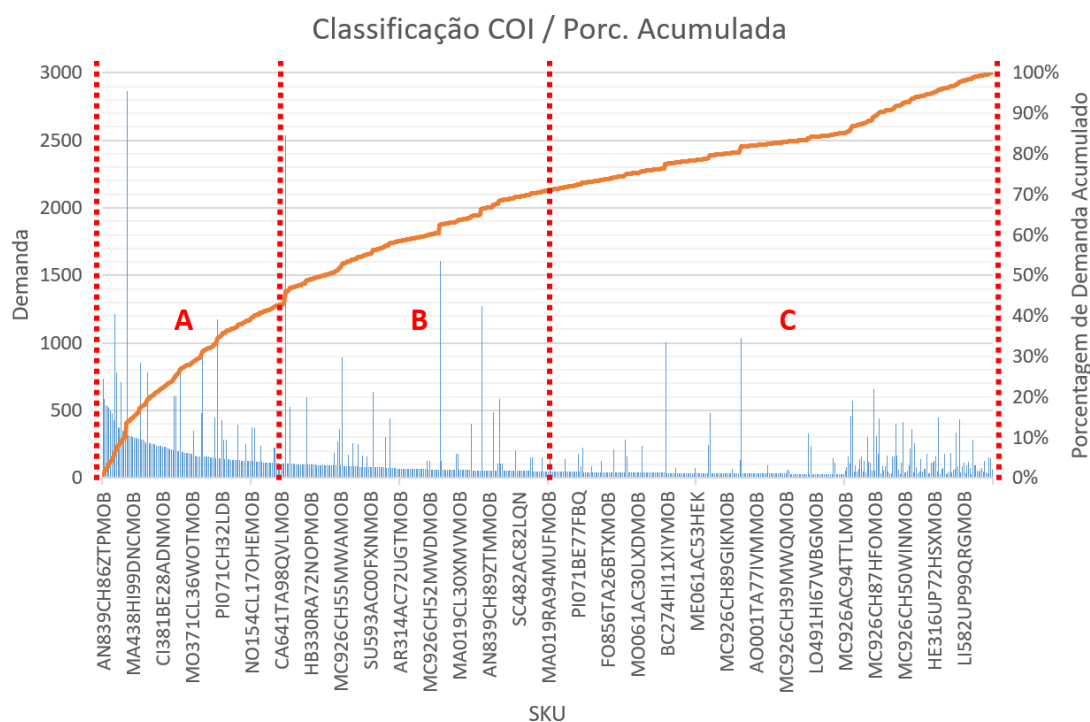
Tabela 4.5 - Classificação ABC por índice COI

Rótulos de Linha	Volume Unid. (m ³)	Pedidos	Volume Total de Armazenagem	Posições Pallet	COI
MO173CH81TREMOb	0,03	2868	74,98176	9	0,026
MC926CH93GIGMOB	0,08	2538	195,4204	24	0,077
MO173CH80TRFMOb	0,13	1609	213,2099	27	0,133
MC926CH88GILMOB	0,15	1272	184,7642	23	0,145
MO173CH00TQLMOB	0,02	1212	20,71372	3	0,017
MC926CH18QPTMOB	0,05	1177	61,26468	8	0,052
MC926CH05EJUMOb	0,25	1038	261,9394	33	0,252
JA046CH93THYMOB	0,21	1005	215,9258	27	0,215
MO912UP74RYVMOB	0,05	957	48,0979	6	0,050

É notável nas Tabela 4.4 e Tabela 4.5 a diferença entre a classificação por volume de vendas e por COI. Para os mesmos dados, o SKU MO173CH81TREMOb, que estava com prioridade máxima devido ao seu volume de vendas de 2868 unidades na primeira tabela, perde essa posição para o SKU MO173CH00TQLMOB (quinta linha) pela classificação por COI, pois apresenta um índice COI (0,026) maior que desse segundo SKU (0,017).

Aplicando a proporção de Pareto para se analisar a representatividade das classes, é perceptível que o COI apresenta menor concentração do que a classificação por frequência de vendas. A Figura 4.3 ilustra essa distribuição.

Figura 4.3 - Classificação ABC pelo Índice COI



Fonte: Elaborada pelo autor

Pela classificação ABC por COI, a classe A possui 20% dos SKU (120) e representatividade de 43% do volume de vendas. Já a Classe B, de movimentação mediana, possui 30% dos SKU (180) e uma representatividade de 29% de volume de vendas. E por fim, a classe C, movimentação lenta, possui 50% dos SKU (300) e uma representatividade de 28% do volume de vendas.

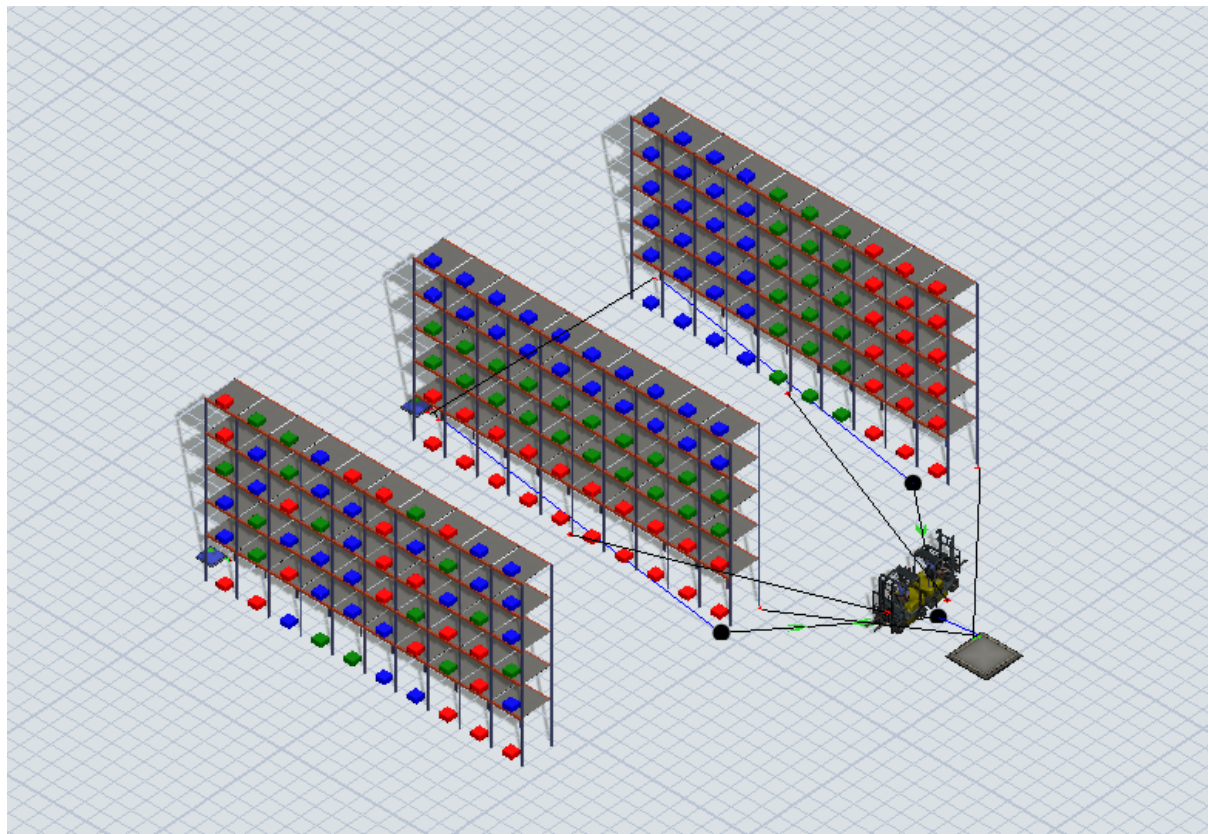
A partir da estimativa de volume necessário para cada SKU, tem-se que a classe A necessita de uma área de 174 posições palete, a classe B, 339 e a classe C, 1487.

4.3.3 Leiautes de Priorização Vertical e Horizontal

Ao se classificar os SKUs em classes, priorizou-se alguns SKUs em detrimento de outros de acordo com algum indicador, no caso desse estudo, o volume de vendas ou o COI. Para que essa priorização seja efetiva, são necessários os leiautes de priorização para que se possa diminuir as distâncias médias por viagem do separador, e consequentemente, o tempo do processo de separação.

Para facilitar a compreensão dos leiautes possíveis, a Figura 4.4 ilustra os três tipos diferentes analisados nesse estudo.

Figura 4.4 - Exemplo de políticas de armazenagem



Fonte: Elaborada pelo autor

Identificando a classe A com a cor vermelha, a classe B, com a verde e a classe C com a azul, pode-se notar a diferença entre os leiautes na Figura 4.4. O leiaute mais à esquerda representa uma armazenagem aleatória na qual as classes encontram-se misturadas, não tendo nenhum tipo de priorização. Ao meio, encontra-se a estrutura porta-paleta que representa o leiaute de priorização das distâncias verticais, ou seja, ao se colocar as classes com maior prioridade nos níveis mais baixos é possível minimizar as distâncias verticais médias na separação de pedidos. Analogamente, encontramos à direita um leiaute que representa a priorização das distâncias horizontais, ou seja, uma vez colocando os SKUs classificados com maior prioridade nos vãos próximos à área de expedição, minimiza-se as distâncias horizontais.

4.3.4 Cenários de Simulação

Tendo três tipos de critérios de armazenagem (Um aleatório e dois por classificação ABC) e dois tipos de leiaute de priorização (vertical e horizontal), pelo princípio multiplicativo, haveriam seis cenários de simulação. Contudo, como a armazenagem aleatória não prioriza nenhum SKU, os leiautes de priorização não produzem nenhum efeito, portanto, todos resultaram equivalentes, assim, eles podem ser considerados como apenas um caso. Dessa forma, existem 5 cenários diferentes para o processo de pré-picking e para o de picking.

A ideia de simular os processos separadamente é de que os ganhos em relação as políticas de armazenagem são independentes e, por isso, se juntos, não seria possível verificar os ganhos individuais de cada processo. Dessa forma, ao final do trabalho, serão analisados os resultados de ambos os processos e escolhida a política de armazenagem que tiver o maior ganho em conjunto.

4.3.5 Código para Política de Armazenagem

Para simplificar as nomeações das políticas de armazenagem, foram criados alguns códigos explicados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Códigos das políticas de armazenagem

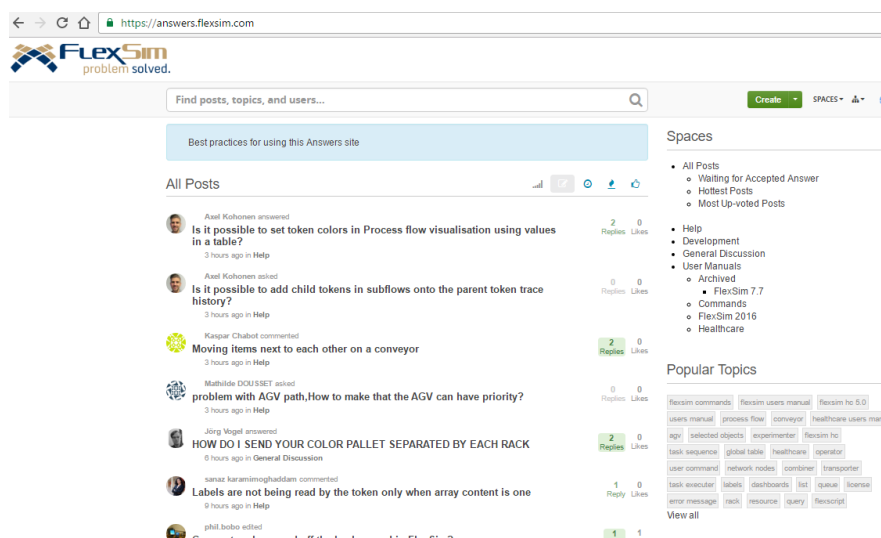
Política de Armazenagem	Código
Armazenamento Aleatório	Aleatório
Armazenamento baseado em classes por volume de vendas com priorização horizontal	ABC H
Armazenamento baseado em classes por volume de vendas com priorização vertical	ABC V
Armazenamento baseado em classes por COI com priorização horizontal	COI H
Armazenamento baseado em classes por COI com priorização vertical	COI V

5 SIMULAÇÃO

A simulação será utilizada para determinar qual a combinação de fatores que fornecem as menores distâncias (horizontais e verticais), o menor tempo de separação de cada lista de separação e o maior número de produtos recolhidos.

O software utilizado foi o Flexsim devido a sua especificidade em operações de centros de distribuição e logística. Ele já apresenta objetos pré-definidos como estruturas porta-paletes, empilhadeiras e operadores, que são elementos que compõem a logística interna de um armazém. Além disso, existe uma comunidade online de perguntas e respostas, a qual foi muito útil para encontrar métodos e dicas para tornar o modelo mais próximo da realidade. A Figura 2.1 mostra a comunidade virtual de perguntas e respostas do software.

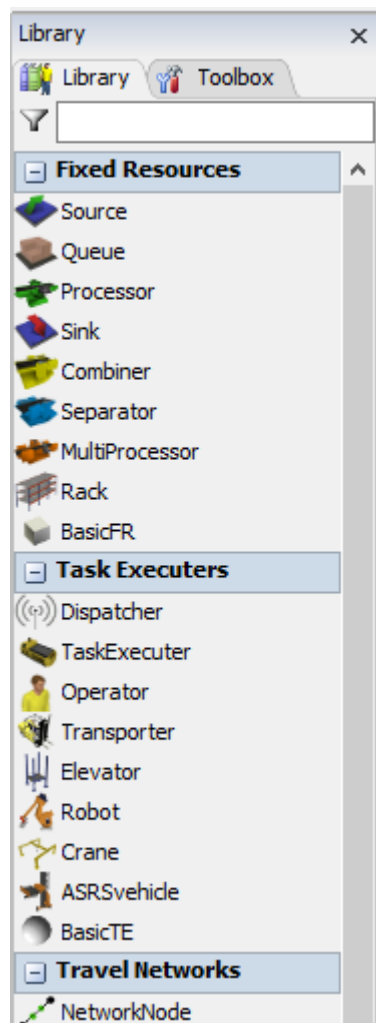
Figura 5.1 - Página inicial da comunidade de respostas do Flexsim



Fonte: Extraído do programa Flexsim

A dinâmica do programa é baseada no “arrasta e solta”, ou seja, após selecionado um objeto na biblioteca de objetos, arrasta-se ele para o cenário 3D. Após arrastar todos os objetos necessários para a simulação, é preciso ajustar as propriedades de cada objeto para adaptar ao caso simulado. A Figura 5.2 mostra os objetos mais utilizados no software, dentre eles, os utilizados na simulação desse estudo. Os detalhes de cada objeto e suas propriedades serão apresentados posteriormente.

Figura 5.2 - Objetos do programa de simulação do programa Flexsim



Fonte: Extraída do programa Flexsim

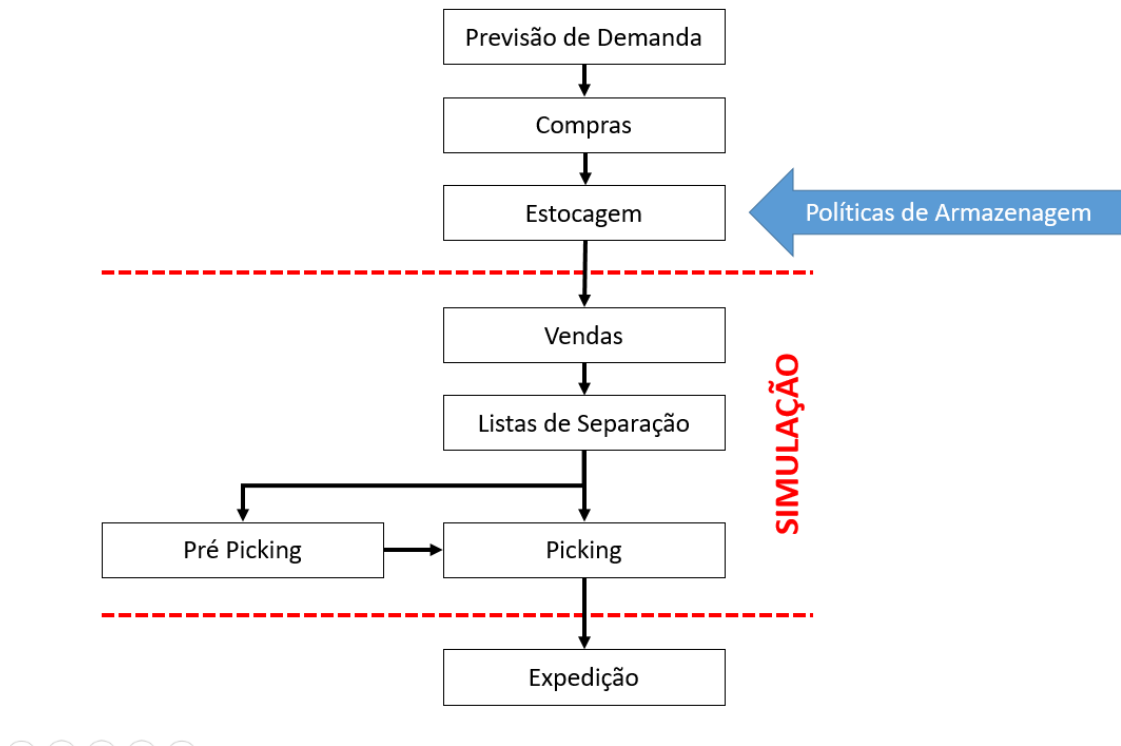
Foram construídos dez modelos de simulação dinâmicos, de eventos discretos e com variáveis estocásticas. Cinco deles representam as políticas de armazenagem para o processo de pré-picking que engloba a subida de paletes utilizados no dia anterior e a descida de paletes para a utilização no dia seguinte. Os outros cinco representam as políticas de armazenagem para o processo de picking que consiste na coleta de SKUs no nível zero.

5.1 PREMISSAS GERAIS DA SIMULAÇÃO

Duas premissas foram assumidas para ambos os processos (pré-picking e picking) do armazém. A primeira premissa trata da fronteira do modelo. Como o intuito da simulação é mensurar os ganhos gerados pelas políticas de armazenagem sobre o processo de separação de pedidos, o modelo inicia-se nas vendas de produtos realizados no site, gerando as listas de separação para o pré-picking e para o picking e termina com a coleta dos produtos e sua deposição na área de

expedição, não englobando os processos pré-expedição como embalagem e etiquetagem. O processo simulado e suas fronteiras em relação ao processo global de operação encontra-se ilustrados na Figura 5.3.

Figura 5.3 - Processo comercial e logístico global e fronteiras da simulação



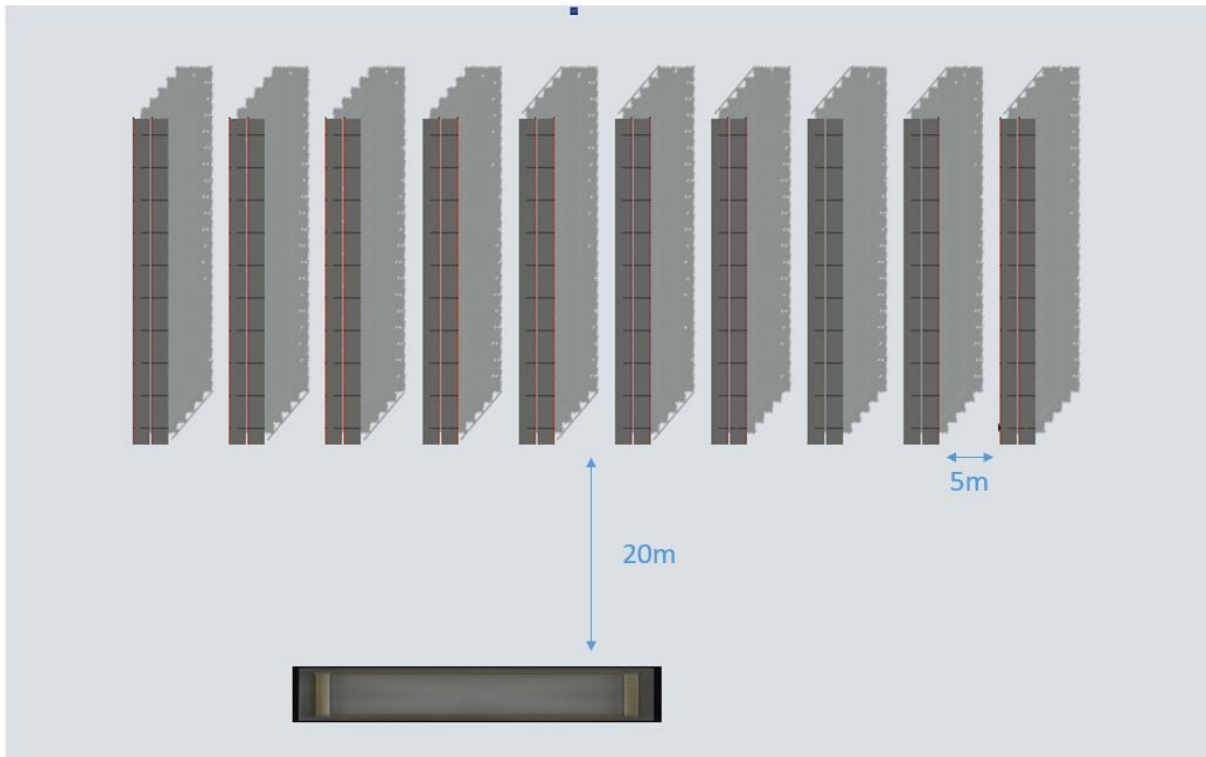
Fonte: Elaborada pelo autor

A segunda premissa trata dos processos anteriores às vendas. A simulação considera que a previsão de demanda e as compras foram feitas de forma a prever todas as vendas efetuadas em todo o período de simulação, por isso, não existe a possibilidade de falta de produto no estoque.

5.2 CENÁRIO DE SIMULAÇÃO

Baseando-se na visita técnica realizada em março de 2016, foi possível obter as dimensões exatas das estruturas porta-paleta, suas distâncias de separação e sua distância da área de expedição. Com esses dados foi possível replicar de forma simplificada o leiaute do armazém, como é ilustrada pela Figura 5.4.

Figura 5.4 - Leiaute do armazém



Fonte: Extraído do programa Flexsim

A seguir serão explicados cada um dos processos que englobam a simulação: Estocagem, Vendas, Listas de Separação, Pré-Picking e o Picking.

5.3 ESTOCAGEM

Apesar do processo operacional de estocagem não ser simulado pelo estudo, foi necessário implementar os leiautes de disposição de produtos nas estruturas porta-paleta para cada tipo de políticas de armazenamento. Assim, mesmo não a simulando, a estocagem aparece na simulação por meio de seu “produto final”, ou seja, por meio da disposição dos SKU nos racks.

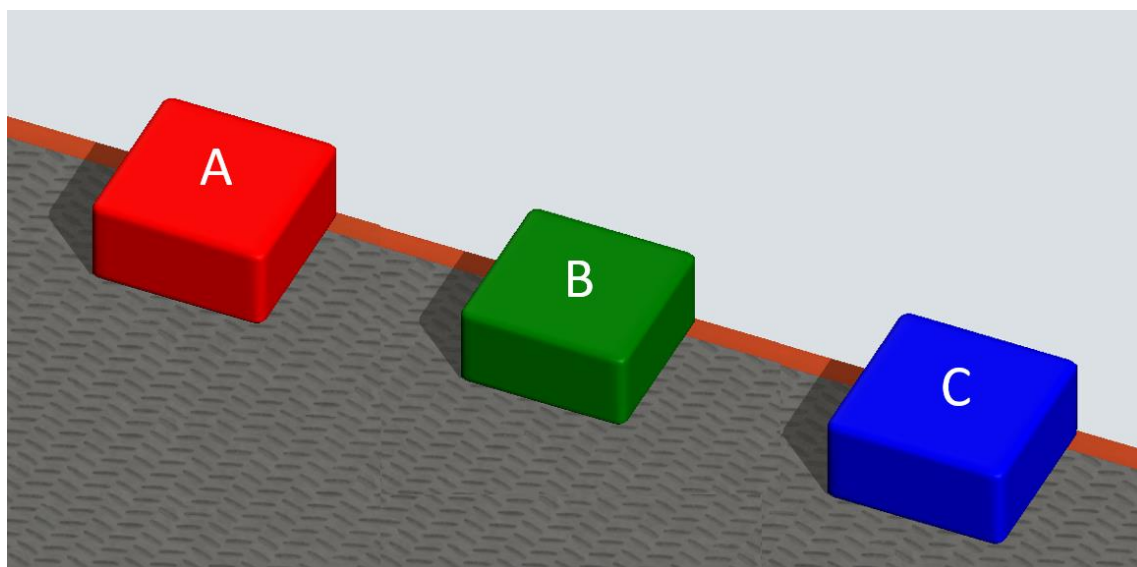
5.3.1 Flowitens

Como definido pela empresa Flexsim, Flowitens (Itens de fluxo, em português) são os objetos que se movem através de seu modelo. Os itens de fluxo podem representar peças, paletes, montagens, papel, embalagens, chamadas telefônicas, ordens ou tudo que se move através do processo você está simulando. No software Flexsim, eles são gerados por um objeto Source e saem do sistema pelo objeto Sink.

O objeto transportado no processo de pré-picking é o palete e no processo de picking, as embalagens contendo SKUs.

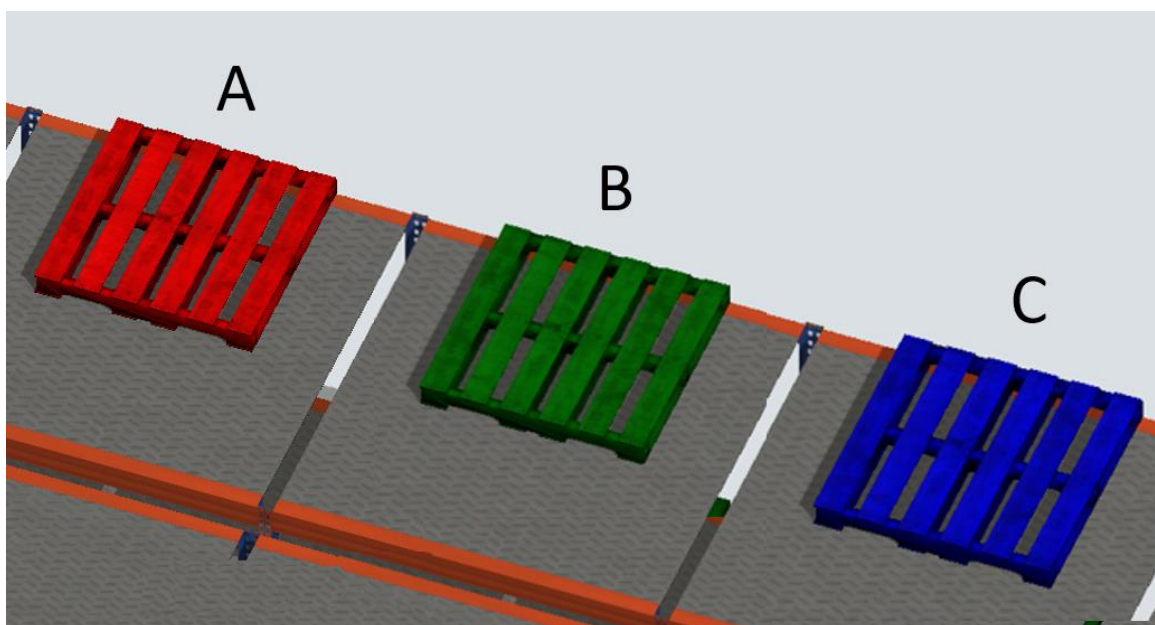
As classes A, B e C utilizadas pela classificação ABC foram representadas por cores na simulação. A classe A é vermelha, a classe B, verde e a classe C, azul. A Figura 5.5 ilustra os Flowitem de cada classe de embalagem usadas no picking, e a Figura 5.6 ilustra os Flowitens paletes usados no processo de pré-picking.

Figura 5.5 - Itens de fluxo em formato de embalagem e coloridos pela classe



Fonte: Extraída do programa Flexsim

Figura 5.6 - Itens de fluxo em formato de paletes e coloridos pela classe

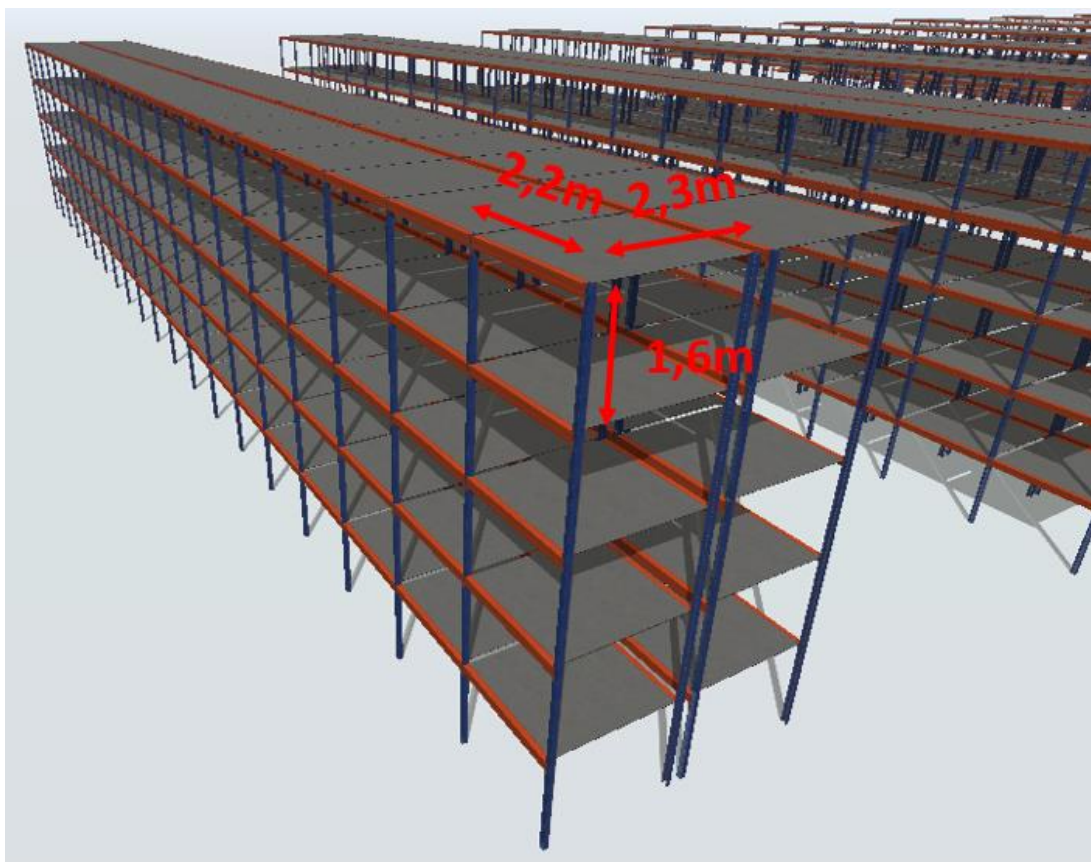


Fonte: Extraída do programa Flexsim

5.3.2 Estrutura Porta-Paleta

As estruturas porta-paleta foram representadas na simulação pelo recurso fixo do software chamado rack. A Figura 5.7 ilustra as dimensões de cada posição porta-paleta no modelo 3D que seguem as dimensões reais do armazém. Cada posição porta-paleta possui dimensões de 2,2m de largura, 1,6m de altura e 2,3m de profundidade. Cada paleta possui 1m de largura e 2,2m de comprimento.

Figura 5.7 - Objeto Rack



Fonte: Extraída do programa Flexsim

Para cada tipo de armazenamento, o critério de estocagem é diferente. A fim de que esse processo pudesse ser replicado, é utilizada uma propriedade do objeto rack que acessa uma tabela referência para saber qual classe cada posição rack pode receber. Essa tabela referência é criada no próprio programa de simulação e foi denominada como “LocSKU”. No caso de armazenamento aleatório, não foi necessário a utilização dessa tabela, já que não há restrição para as posições SKUs, sendo assim utilizada a propriedade de alocação randômica do objeto rack.

5.3.3 Tabela LocSKU

Como visto na metodologia, tem-se quatro políticas de armazenamento diferentes que são obtidas pela combinação dos dois tipos de classificação ABC(volume de vendas ou COI) com os dois tipos de priorização(vertical e horizontal). Logo, para cada uma delas tem-se uma tabela LocSKU diferente e, assim, criam-se os leiautes apropriados de alocação de SKU para cada uma delas. A Figura 5.8 exemplifica a tabela utilizada na simulação de classificação por volume de vendas com priorização vertical.

Figura 5.8 - Tabela LocSKU

	PosPalete	Rack	Bay V	Level V	ABC
Row 1	1.000	1.000	20.000	2.000	1.000
Row 2	2.000	1.000	19.000	2.000	1.000
Row 3	3.000	1.000	18.000	2.000	1.000
Row 4	4.000	1.000	17.000	2.000	1.000
Row 5	5.000	1.000	16.000	2.000	1.000
Row 6	6.000	1.000	15.000	2.000	1.000
Row 7	7.000	1.000	14.000	2.000	1.000
Row 8	8.000	1.000	13.000	2.000	1.000
Row 9	9.000	1.000	12.000	2.000	1.000
Row 10	10.000	1.000	11.000	2.000	1.000
Row 11	11.000	1.000	10.000	2.000	1.000
Row 12	12.000	1.000	9.000	2.000	1.000
Row 13	13.000	1.000	8.000	2.000	1.000
Row 14	14.000	1.000	7.000	2.000	1.000
Row 15	15.000	1.000	6.000	2.000	1.000
Row 16	16.000	1.000	5.000	2.000	1.000
Row 17	17.000	1.000	4.000	2.000	1.000
Row 18	18.000	1.000	3.000	2.000	1.000
Row 19	19.000	1.000	2.000	2.000	1.000
Row 20	20.000	1.000	1.000	2.000	1.000

Fonte: Extraída do programa Flexsim

A tabela LocSKU é a referência acessada pelo objeto rack (estrutura porta-palete) para saber qual classe cada posição porta-palete pode receber. Essa tabela possui cinco colunas na qual a primeira contém as posições porta-palete (de 1 a 2000), a segunda contém a qual rack a posição porta-palete pertence, a terceira, a qual vão do rack, a quarta, a qual nível do rack e, por fim, a quinta, a qual classe essa posição pode receber, representando as classes A,B e C pelos números 1,2 e 3, respectivamente.

5.3.4 Leiautes de disposição dos SKU

Existe um leiaute específico para cada política de armazenagem. A seguir, serão detalhados e ilustrados os processos de alocação de classes para cada uma delas.

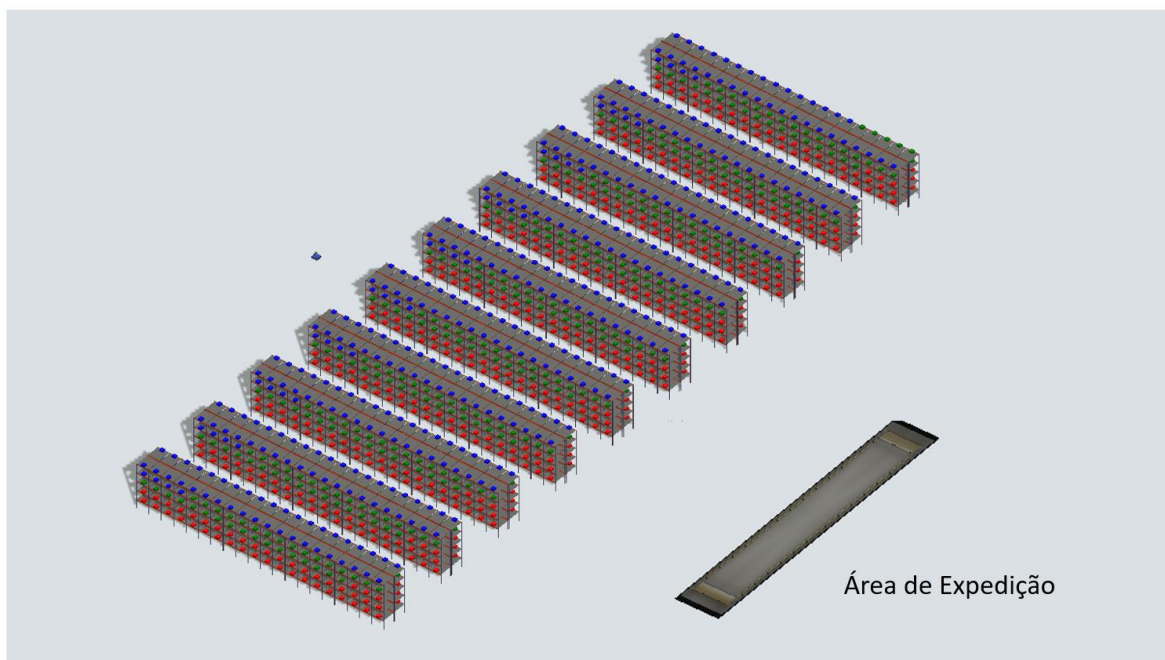
5.3.4.1 Classificação ABC por Frequência de Vendas

Como mencionado no capítulo de metodologia, por frequência de vendas, a classe A necessita de 868 posições porta-paleta, a classe B, 661 e a classe C, 471, somando ao todo 2.000 posições. Dividindo-se pelos 20 racks, a classe A possui uma área de 43 posições porta-paleta, a classe B, 33 posições porta-paleta e a classe C, 24. Pela Figura 5.9, é possível ter noção de como seria o estoque com priorização vertical com classificação ABC por frequência de vendas.

5.3.4.1.1 Priorização de Distâncias Verticais

A Figura 5.9 representa a política ABC V, é perceptível que o volume ocupado pela área reservada para classe A é amplo, ocupando um pouco mais de dois primeiros níveis das estruturas porta-paleta.

Figura 5.9 - Armazenagem com classes baseadas em volume de vendas e priorização vertical

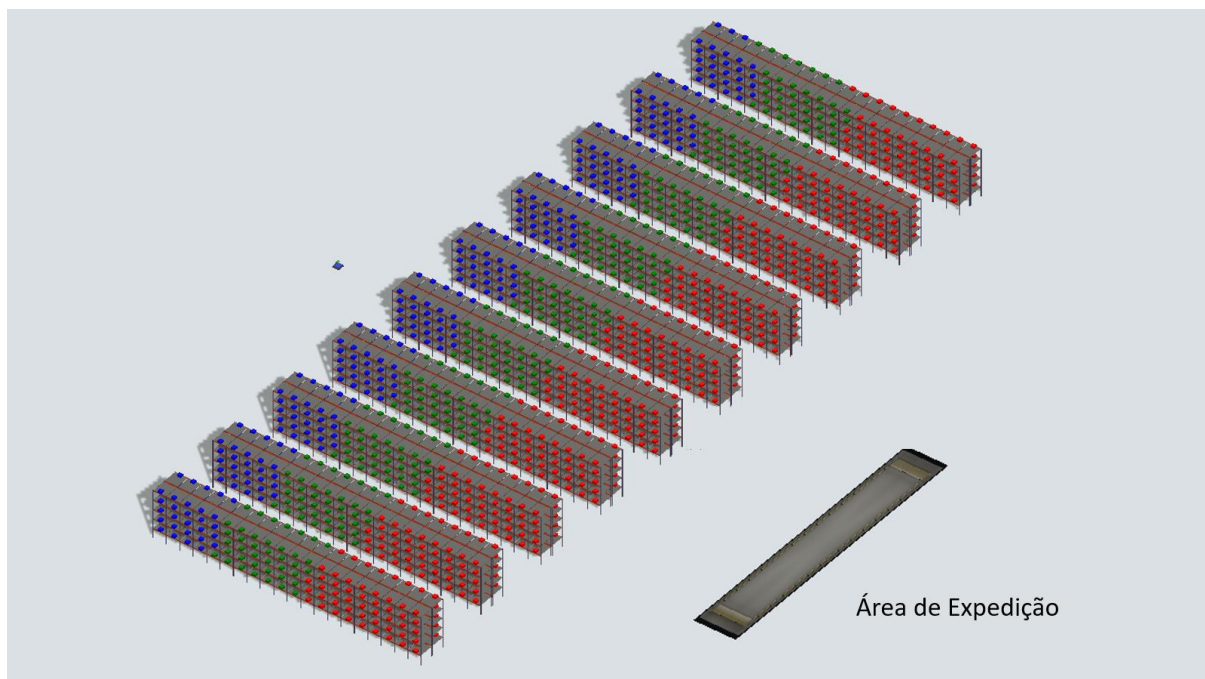


Fonte: Extraída do programa Flexsim

5.3.4.1.2 Priorização de Distâncias Horizontais

A Figura 5.10 representa a política ABC H, verificando que a classe A ocupa as fileiras próximas da área de expedição.

Figura 5.10 - Armazenagem com classes baseadas em volume de vendas e priorização horizontal



Fonte: Extraída do programa Flexsim

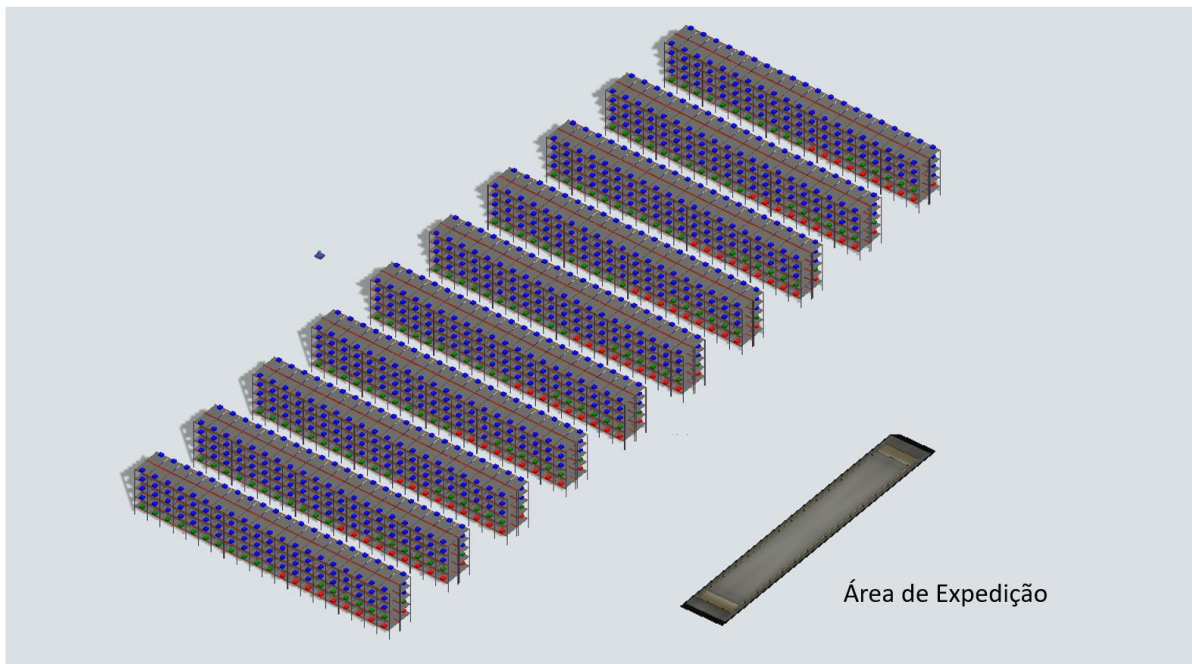
5.3.4.2 Classificação ABC por Índice Cube-per-Order

Como mencionado no capítulo de metodologia, por frequência de vendas, a classe A necessita de 174 posições paleta, a classe B, 339 e a classe C, 1487, somando ao todo 2.000 posições. Dividindo-se pelos 20 racks, a classe A possui uma área de 9 posições paleta, a classe B, 17 posições paleta e a classe C, 74. Pela Figura 5.11, é possível ter noção de como seria o estoque com priorização vertical com classificação ABC por frequência de vendas.

5.3.4.2.1 Priorização de Distâncias Verticais

Por priorizar pequenos volumes, a classificação por COI faz com que a área reservada para a classe A seja muito reduzida em relação a classificação ABC por vendas. É perceptível esse fato pela Figura 5.11 que mostra que a área reservada para a classe A e B não conseguem preencher as duas primeiras fileiras.

Figura 5.11 - Armazenagem com classes baseadas em COI e priorização vertical

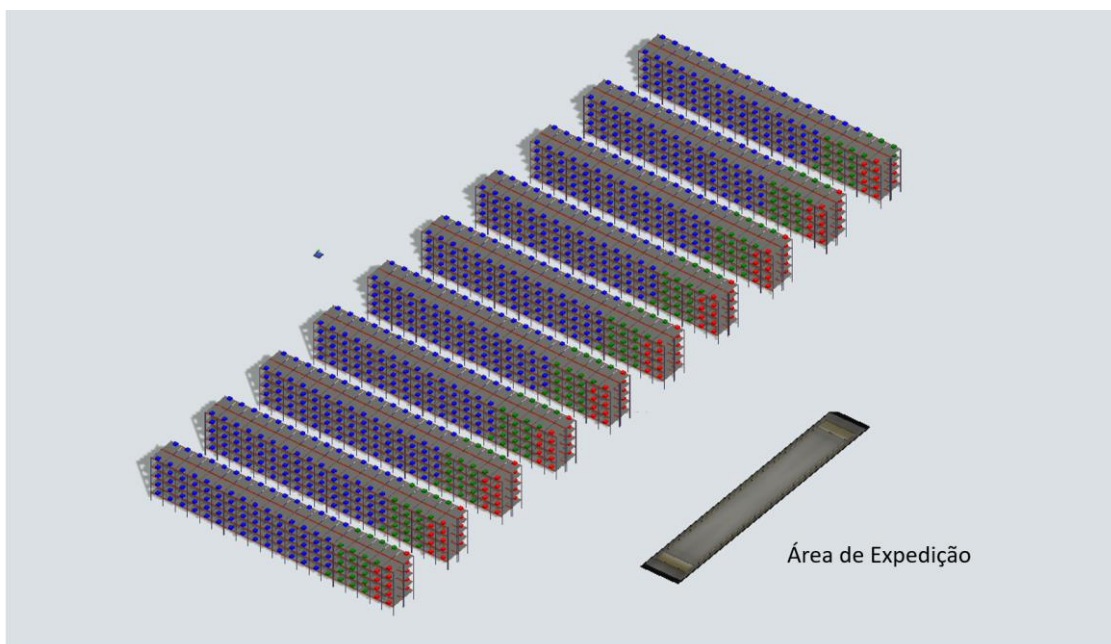


Fonte: Extraída do programa Flexsim

5.3.4.2.2 Priorização de Distâncias Horizontais

É perceptível pela Figura 5.12 que as áreas das classes A e B encontram-se próximos da área de expedição.

Figura 5.12 - Armazenagem com classes baseadas em COI e priorização horizontal

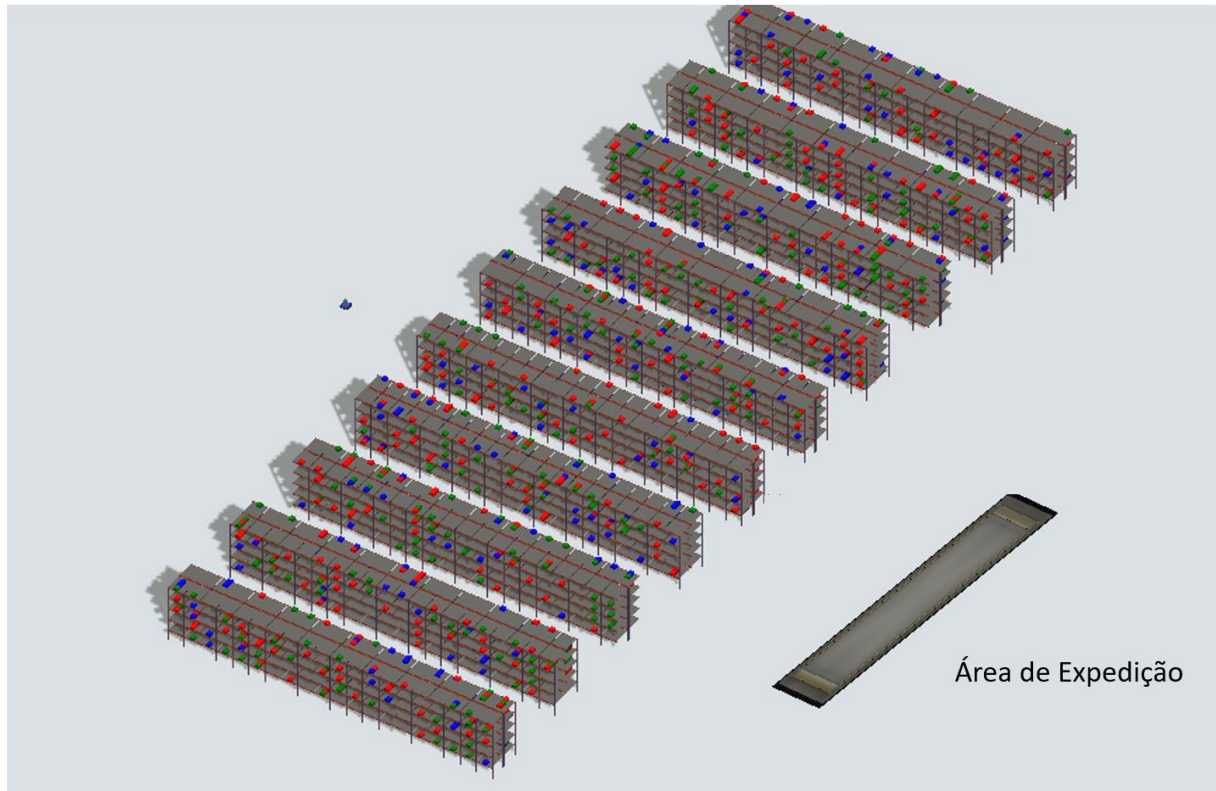


Fonte: Extraída do programa Flexsim

5.3.4.3 Armazenamento Aleatório

A Figura 5.13 ilustra a disposição de SKU na política de armazenagem aleatória.

Figura 5.13 - Armazenagem aleatória



Fonte: Extraída do programa Flexsim

5.4 VENDAS

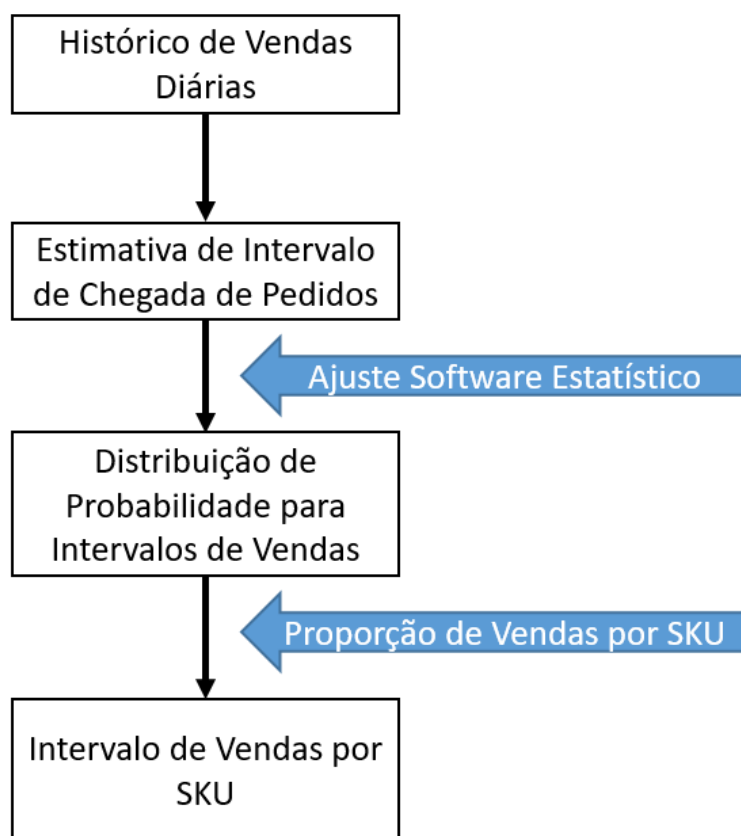
A partir da base de dados fornecida pela empresa em relação as vendas diárias dos SKU, foi possível traçar a distribuição de chegadas de pedidos de cada produto para serem geradas as listas de separação do pré-picking e do picking.

Como já mencionado no capítulo de metodologia, apenas os 600 SKUs mais vendidos foram considerados. Eles apresentam representatividade de 84% em relação ao toda de vendas da empresa.

A base de dados de vendas é discriminada por SKU e por dia, assim, seria possível ajustar o histórico de cada item para uma distribuição probabilística de intervalo de chegada. Contudo, os produtos com baixa frequência de vendas não apresentaram volumes suficientes para o software estatístico conseguir aproximar com precisão. Portanto, a alternativa a esse problema foi ajustar o histórico de todos os SKUs a uma distribuição probabilística e em seguida

identificá-los pela proporção individual de cada SKU em relação ao total de vendas no período estudado. A Figura 5.14 ilustra esse processo de chegada de pedidos.

Figura 5.14 - Processo de chegada de pedidos

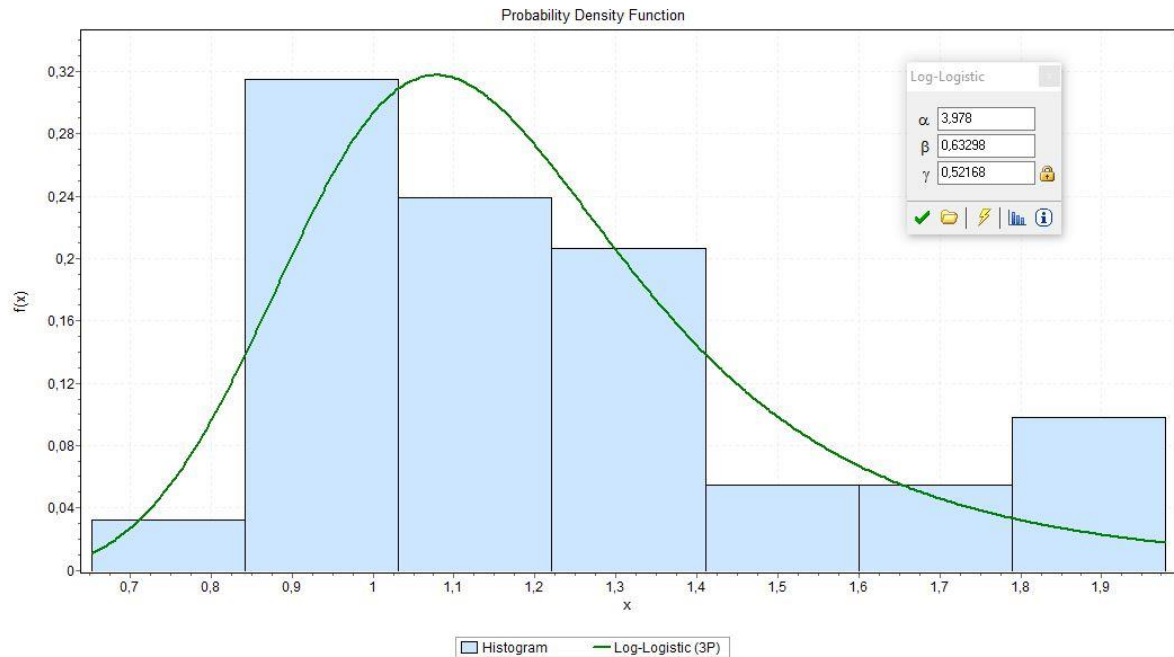


Fonte: Elaborada pelo autor

5.4.1 Intervalo de Chegada de Pedidos

Como mencionado na metodologia, tem-se o histórico de vendas por SKU diariamente no período estudado. Tratando todos os SKUs como iguais, dividiu-se o número de pedidos diários pelas 16 horas que são dedicadas pelo armazém para sua separação. Com isso, chegou-se em uma base de dados com intervalos de chegadas de pedidos no armazém por dia. Essa base foi ajustada para uma distribuição de probabilidade por meio do programa estatístico EasyFIT. O programa considerou que a curva mais próxima dos dados seria uma Log-Logistic com formato igual a 3,9 e escala igual a 0,63 e valor mínimo de 0,52. O resultado do software é mostrado na Figura 5.15.

Figura 5.15 - Distribuição de probabilidade de intervalo de vendas

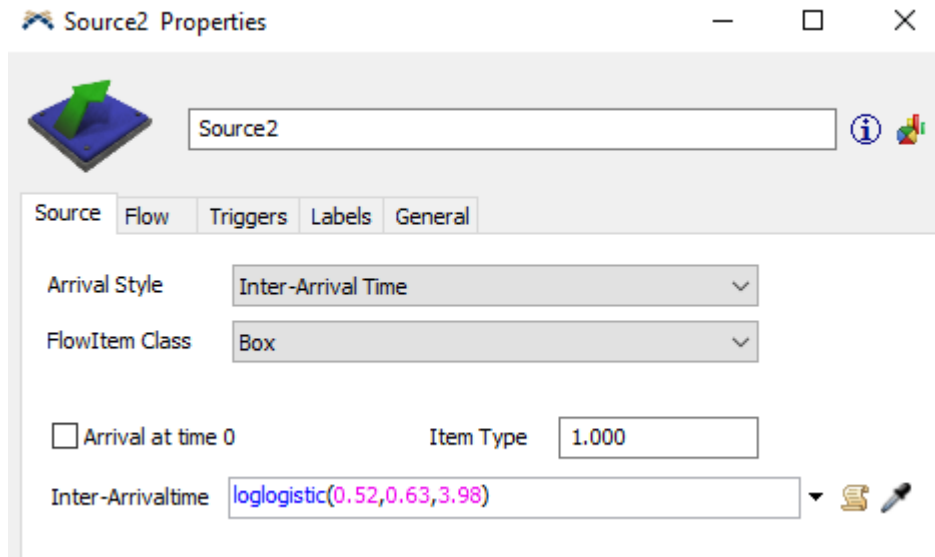


Fonte: Extraída do programa EasyFit

5.4.2 Entrada de Pedidos na Simulação

Cada SKU vendido é representado por um item de fluxo (Flowitem). Para simular a chegada de pedidos no armazém, foi utilizado o objeto Source do programa Flexsim. O objeto Source cria os itens de fluxo e os insere no sistema de simulação. Para ser condizente com o problema estudado, foi selecionada a opção de intervalos de chegada, na qual foi escolhida a distribuição de probabilidade Log-Logistic com os parâmetros anteriormente informados. A Figura 5.16 ilustra a janela de propriedades do objeto Source.

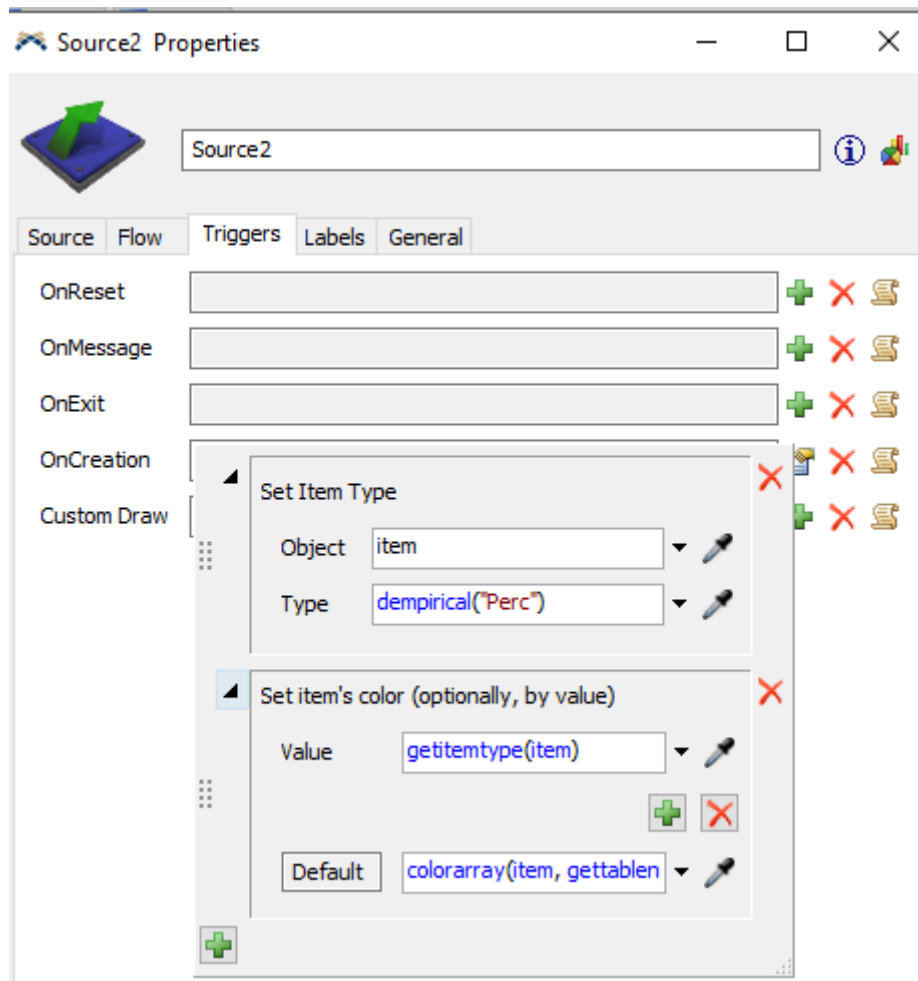
Figura 5.16 - Propriedades do objeto Source



Fonte: Extraída do programa Flexsim

Esse processo só inclui a criação de Flowitens, ainda é necessário identificar qual SKU foi vendido. Assim, é utilizada outra propriedade do objeto Source a de disparar um comando quando um Flowitem é criado. Na aba “Trigger” é possível selecionar o evento “On creation” e inserir dois comandos. Um deles denominado “Set Item Type” é o procedimento que identifica qual SKU é, pela porcentagem de vendas dele em relação ao total. O campo “Type” foi preenchido com a função dempírica (“Perc”) que é um função que retorna um valor aleatório que respeita uma distribuição empírica e discreta. Essa distribuição empírica encontra-se em uma tabela, que se chama Perc e possui duas colunas. A primeira coluna apresenta as porcentagens de ocorrência dos valores que se encontram na segunda coluna.

Figura 5.17 – Chamada da tabela Perc



Fonte: Extraída do programa Flexsim

Figura 5.18 - Tabela Perc

Model Perc Order LocSKU		
	Probabilidade	SKU
Row 1	0.847	1.000
Row 2	0.671	2.000
Row 3	0.625	3.000
Row 4	0.615	4.000
Row 5	0.596	5.000
Row 6	0.579	6.000
Row 7	0.554	7.000
Row 8	0.494	8.000
Row 9	0.466	9.000
Row 10	0.125	10.000
Row 11	0.123	11.000
Row 12	0.122	12.000

Fonte: Extraída do programa Flexsim

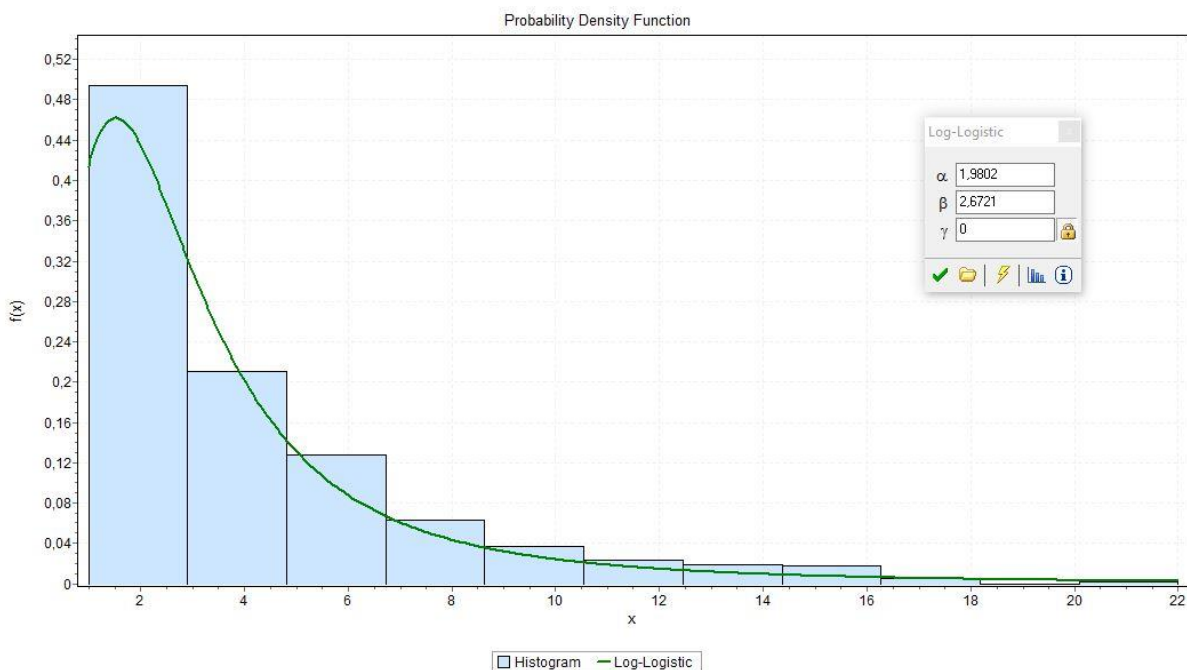
5.5 SEPARAÇÃO DE PEDIDO

5.5.1 Listas de Separação

As vendas geram pedidos de separação no armazém. Como foi mencionado na formulação do problema, as listas de separação contêm os paletes que precisam ser deslocados pelo processo de pré-picking e os que contêm os SKUs que são coletados pelo processo de picking.

Assim como foi feito com o histórico de vendas, o histórico de listas de separação também foi ajustado para uma distribuição de probabilidade através do programa EasyFIT. A distribuição mais próxima é uma distribuição log-logistic com formato 1,98 e escala 2,67 mostrada na Figura 5.19.

Figura 5.19 - Distribuição de probabilidade para número de SKUs na lista de separação



Fonte: Extraída do programa EasyFit

5.5.2 Picking

O picking é o processo de recolhimento de SKUs dos paletes no nível zero. Por se tratar de produtos, os Flowitems escolhidos são em formato de embalagens. Esse processo é realizado por operários que andam pelo armazém com transpaleteiras manuais. Os operários são representados pelo objeto Operator do programa Flexsim, ilustrado na Figura 5.20. A

transpaleteira manual não pode ser reproduzida e por isso o objeto Operator carrega na mão os produtos recolhidos.

A velocidade considerada na simulação para o operador é de 6 km/h. O tempo de locomoção do SKU do palete para a transpaleteira manual foi considerado na propriedade Unload com duração de um minuto, ou seja, todas as vezes que um SKU é coletado, o objeto Operator espera um minuto para prosseguir.

Figura 5.20 - Objeto Operator



Fonte: Extraída do programa Flexsim

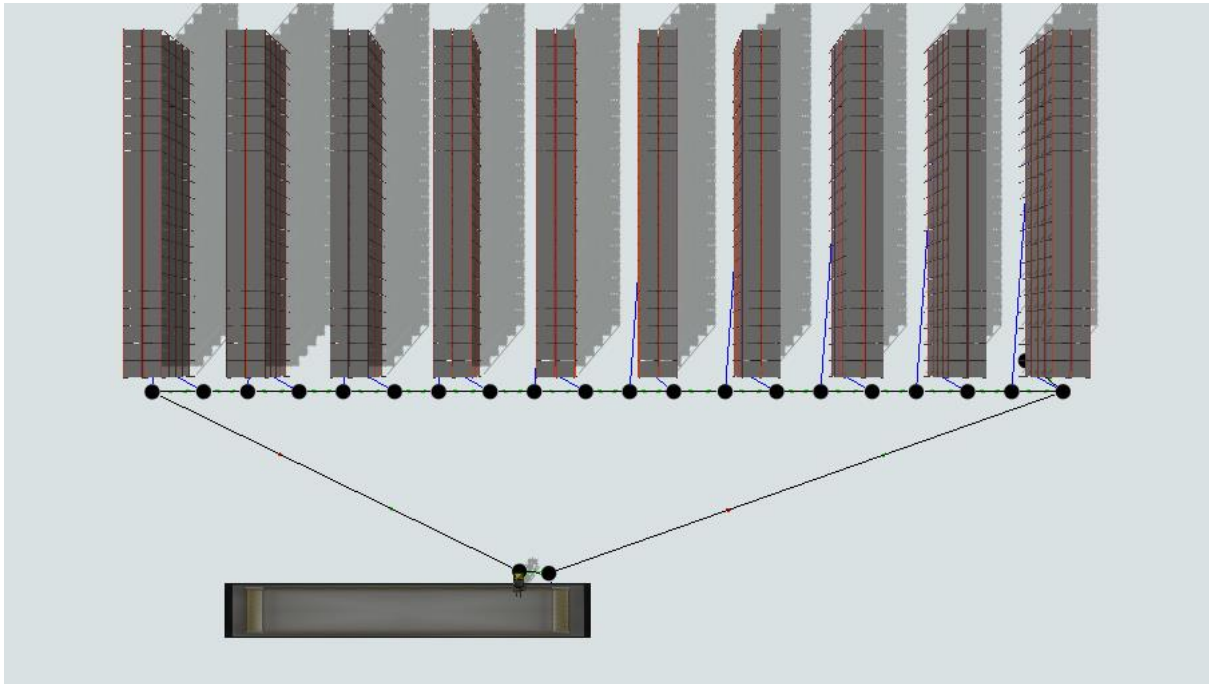
5.5.2.1 Roteirização

Como comentado no capítulo de definição do problema, o separador desloca-se pelo método de roteirização de retorno, ou seja, ele percorre a rua de cruzamento 1 para mudar de estrutura porta-palete e entra apenas nas ruas que possuem paletes a serem deslocados. Na simulação, este método de roteirização foi feito através de objetos Networknodes.

De acordo com a Flexsim, Networknodes são usados para definir uma rede de caminhos que os transportadores e operadores seguem. Por padrão, os objetos que viajam em uma rede irão seguir o caminho mais curto entre sua origem e destino.

A Figura 5.21 mostra o cenário de simulação com os objetos Networknodes. Eles são os pontos pretos ligados por linhas que obrigam o operador a seguir essa rota enquanto não chegar em ruas com paletes para serem deslocados.

Figura 5.21 - Cenário de simulação com os objetos Networknodes

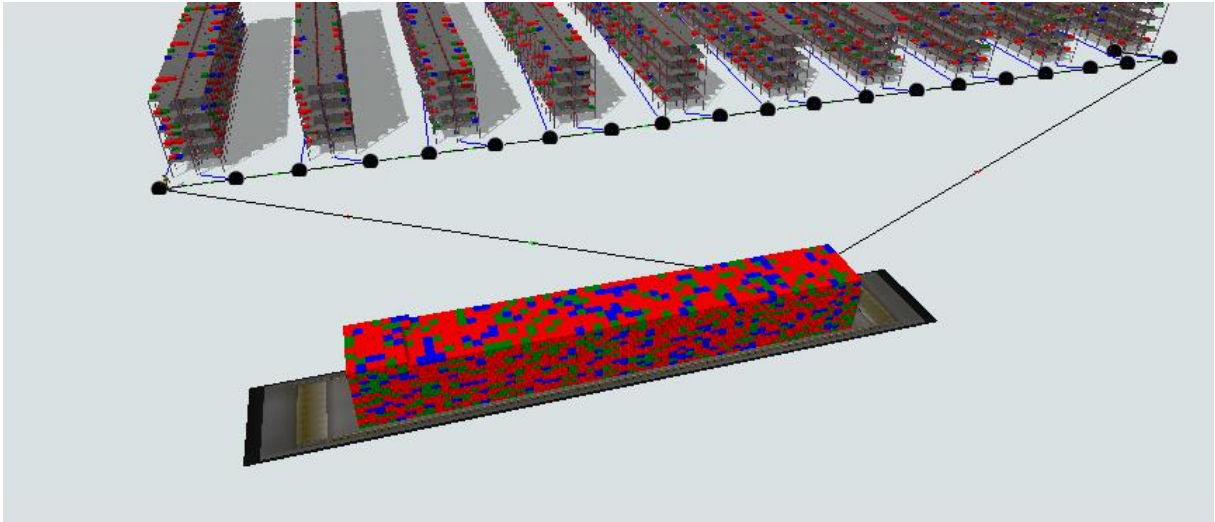


Fonte: Extraída do programa Flexsim

5.5.2.2 Área de Expedição

A área de expedição é o destino final dos itens de fluxo na simulação desse estudo. Ela é representada por um objeto Queue. Os itens de fluxo são empilhados em cima desse objeto de forma cumulativa durante toda a simulação. Um objeto Queue é mostrado na Figura 5.22.

Figura 5.22 - Área de expedição

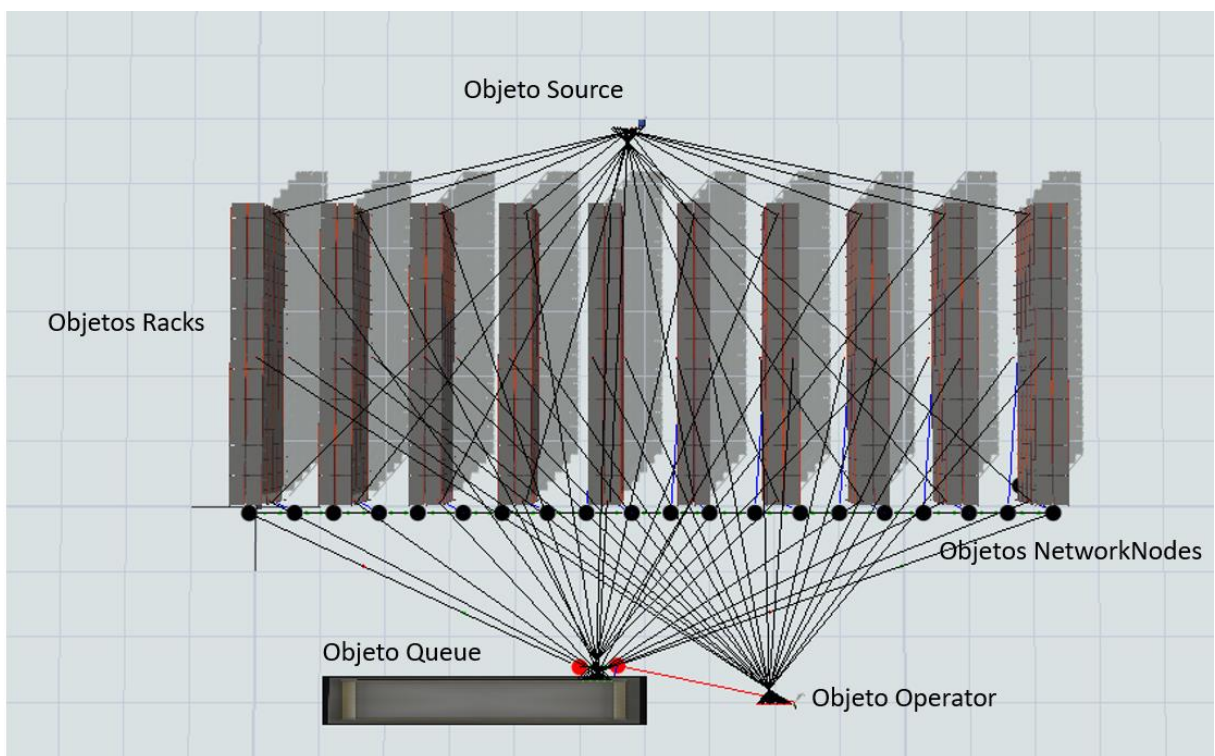


Fonte: Extraída do programa Flexsim

5.5.2.3 Ligação dos Objetos da Simulação e Fluxo dos Flowitens

Após apresentados todos os objetos que compõem a simulação, é possível explicar a conexão entre eles. A Figura 5.23 ilustra o cenário com todos os objetos.

Figura 5.23 - Conexões entre os objetos da simulação

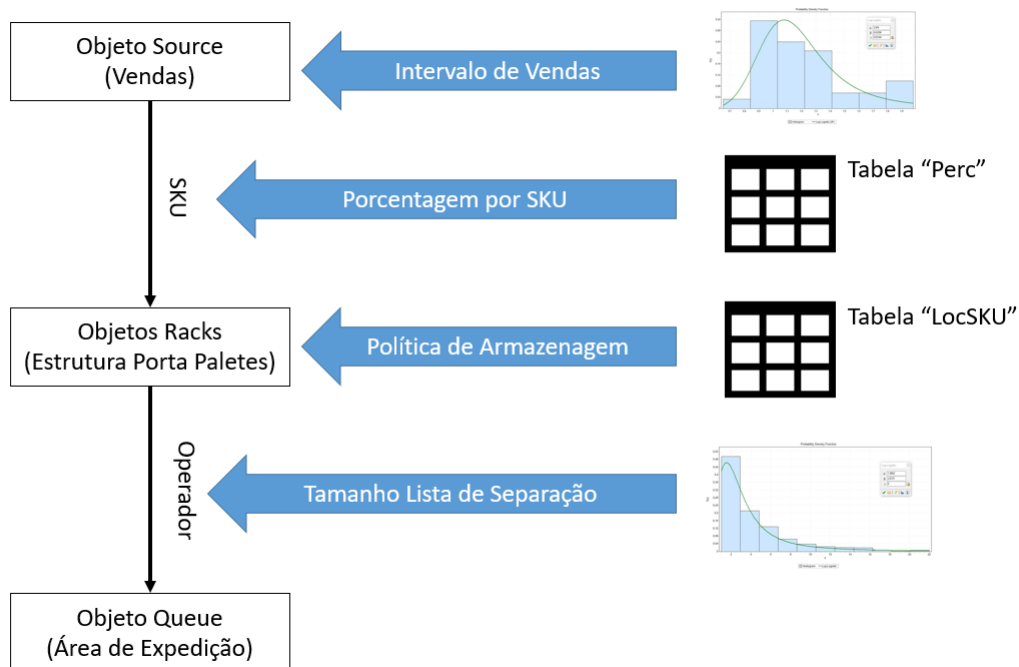


Fonte: Extraída do programa Flexsim

É possível ver o objeto Source no canto superior da imagem que está ligado a todos os racks. As linhas pretas representam ligações pelas quais os itens de fluxos se movimentam e, por isso, é evidente que os itens criados (vendas efetuadas) pelo Source são direcionados para os racks. Os racks, por sua vez, identificam a qual classe o SKU recebido pertence e o dispõe na área determinada para a classe de acordo com a política de armazenamento escolhida.

Os racks estão ligados tanto à área de expedição quanto ao objeto Transporter. A área de expedição é o local para onde o Flowitem deve ir e a Transporter é o meio pelo qual o SKU chegará no objeto Queue e, por isso, o rack deve estar ligado a ambos objetos. Assim, a Figura 5.24 ilustra o fluxo de itens de fluxo pelos objetos de simulação.

Figura 5.24 - Fluxo de Flowitens



Fonte: Elaborada pelo autor

5.5.3 Pré-picking

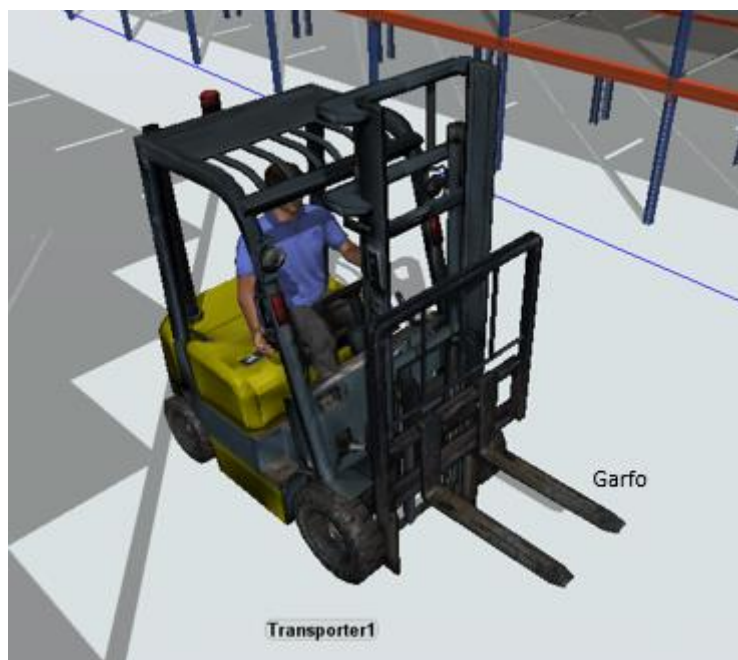
Como comentado na formulação do problema, o pré-picking consiste no transporte dos paletes das posições de estocagem (nível acima do chão) para o nível 0 (chão). Ele ocorre simultaneamente ao processo de picking, mas se antecipa para os itens que serão recolhidos no dia seguinte. Eles recebem uma lista de separação, realizam os transportes necessários e voltam para o terminal de controle do sistema para receber uma nova lista. É realizada a checagem de lista por lista para assegurar que nenhum SKU tenha sido esquecido.

Ao contrário do processo de picking, ocorrem movimentações verticais no pré-picking. Isso faz com que as políticas de armazenagem verticais surtam efeito na produtividade do processo, ou seja, espera-se que as políticas com esse tipo de priorização apresentem os melhores resultados.

O processo de pré-picking movimenta paletes e por essa razão necessita de empilhadeiras no processo. Existem atualmente sete empilhadeiras no armazém, entretanto, a simulação considerou apenas uma devido às limitações da versão de estudante. Contudo pelo processo acontecer da forma descrita acima, não existem evidências de sinergia nas atividades das empilhadeiras, tendo, portanto, resultados independentes.

A empilhadeira foi representada no software de simulação pelo objeto Transporter que é ilustrado na Figura 5.25. A velocidade considerada para a empilhadeira de locomoção horizontal é de 8 km/h. A velocidade configurada para o garfo é de 1 km/h, tendo sido estimada por um vídeo gravado na visita técnica dessa operação. As velocidades de subida e de descida foram consideradas iguais na simulação. Por fim, o tempo de encaixar e desencaixar o no palete foi considerado pela propriedade Load com o valor de 15 segundos, ou seja, todas as vezes que a empilhadeira movimenta o palete, o operador espera 15 segundos para seguir para a próxima ação.

Figura 5.25 - Objeto Transporter

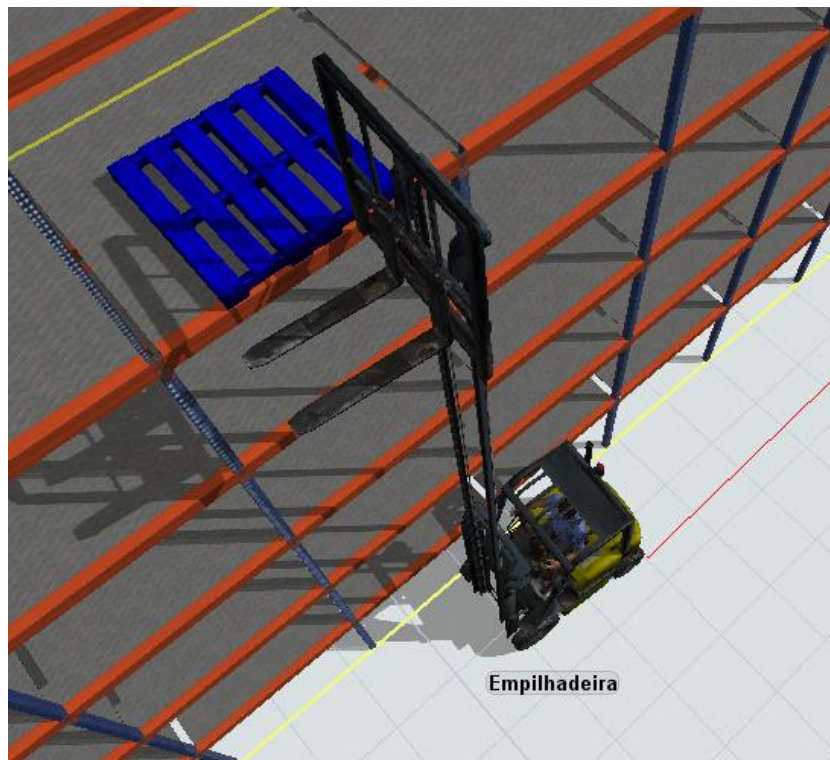


Fonte: Extraída do programa Flexsim

5.5.3.1 Movimentação Vertical

A movimentação vertical do objeto Transporte ocorre através da elevação do garfo da empilhadeira. É possível replicar essa ação através do programa Flexsim. O garfo movimenta-se apenas quando o objeto Transporter chega na posição abaixo do SKU selecionado. A Figura 5.26 demonstra a movimentação do garfo.

Figura 5.26 - Movimentação vertical do garfo da empilhadeira

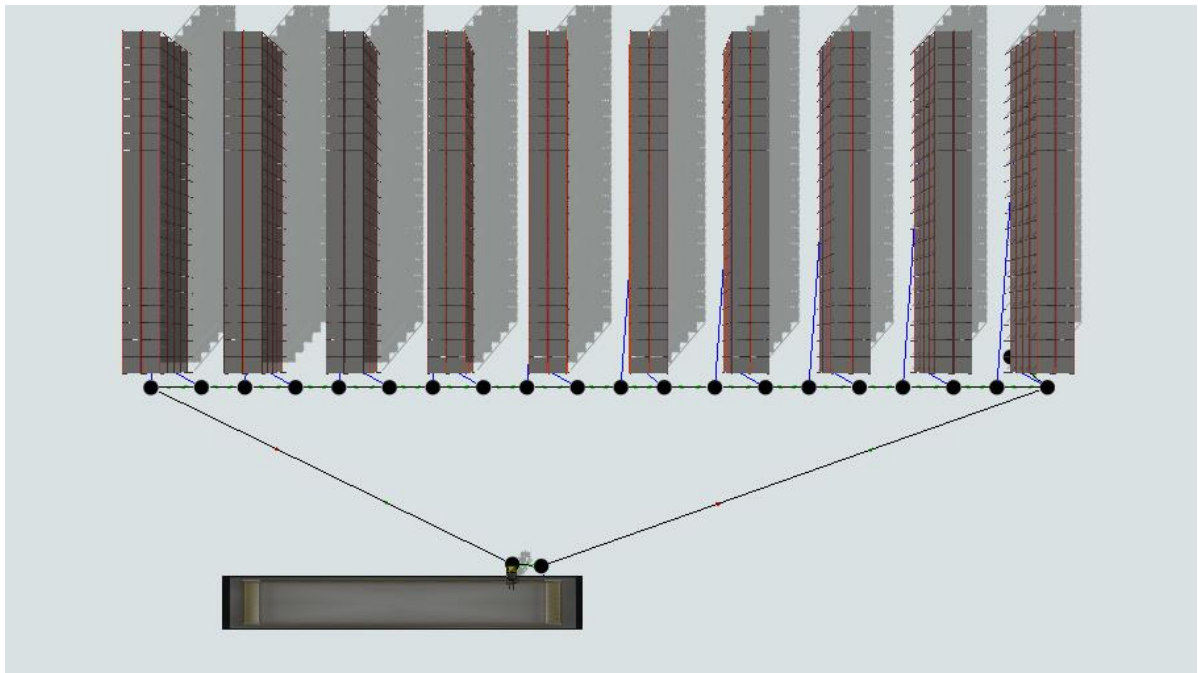


Fonte: Extraída do programa Flexsim

5.5.3.2 Roteirização

Assim como no Picking, a roteirização do Pré-picking segue o método de Retorno. A Figura 5.27 ilustra os objetos NetworkNodes utilizados para se conseguir o deslocamento apenas na rua de cruzamento 1 e a visita exclusiva de ruas com SKUs para serem recolhidos.

Figura 5.27 - Cenário de simulação com os objetos Networknodes



Fonte: Extraída do programa Flexsim

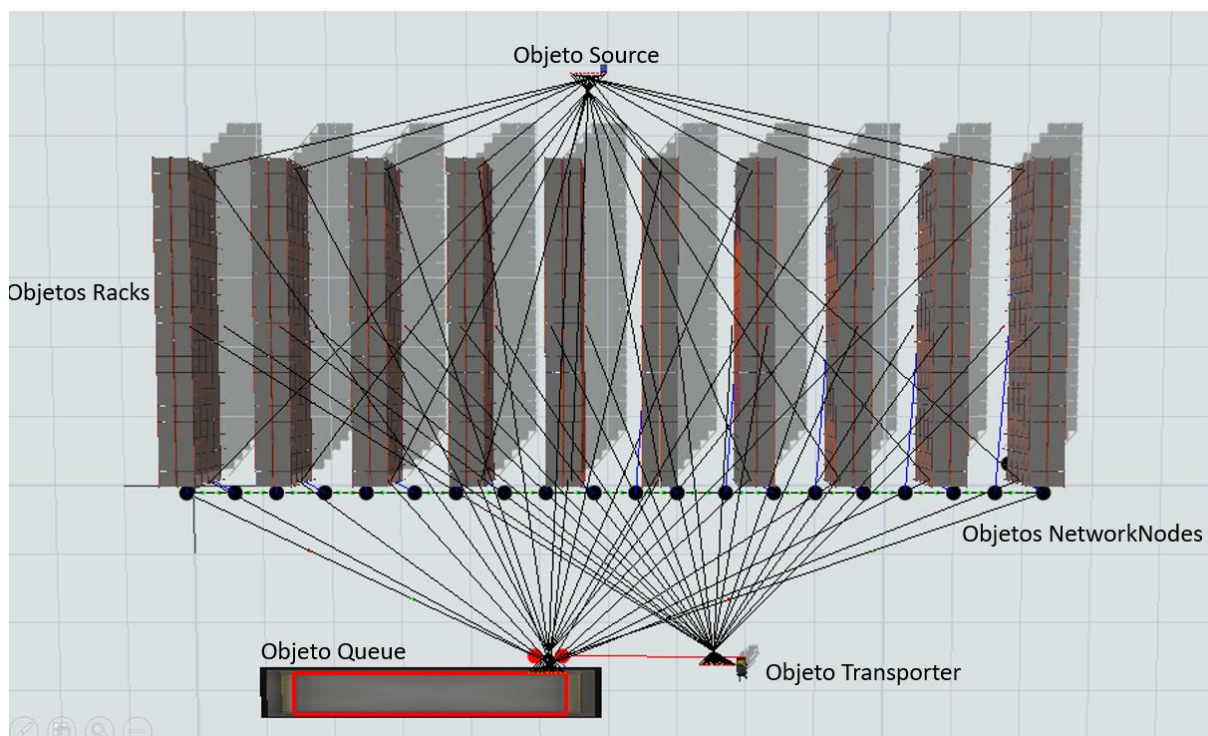
5.5.3.3 Retorno à Área de Expedição

No processo real, ocorre a conferência de cada lista de pedidos. Para isso, é necessário que o operador, com a empilhadeira, retorne para a área de expedição na qual encontra-se o terminal do sistema de gestão do armazém. Não houve a necessidade de representar o terminal na simulação já que ele se encontra no mesmo local que a área de expedição, ou seja, bastou fazer o operador voltar a tal área.

5.5.3.4 Ligação dos Objetos da Simulação e Fluxo dos Flowitens

Após apresentados todos os objetos que compõem a simulação, é possível explicar a conexão entre eles. A Figura 5.28 ilustra o cenário com todos os objetos.

Figura 5.28 - Cenário de simulação com os Networknodes para pré-picking



Fonte: Extraída do programa Flexsim

5.5.3.5 Equivalência da Simulação com a Realidade

Apesar do processo de simulação não replicar as exatas ações do processo real, as ações simuladas são equivalentes àsquelas feitas na realidade.

A diferença para a vida real é que a ação de movimentação do garfo da empilhadeira não deixa o palete no nível zero. Como as simulações funcionam de forma contínua por centenas de horas, o acúmulo de paletes abaixo dos racks formariam pilhas de alturas maiores que as próprias estruturas porta-paletes, sendo inconvenientes para a dinâmica da simulação. Como alternativa a esse efeito, ao invés de serem abandonados no nível zero, os paletes são carregados pela empilhadeira durante o processo de pré-picking e são deixados na área de expedição no momento em que o operador faria a conferência de lista de pedidos.

5.6 INDICADORES DE SAÍDA

Como visto na revisão de literatura, os principais indicadores envolvendo os processos de separação de pedidos e que foram selecionados são as distâncias horizontais e verticais percorridas pela empilhadeira ou pelo separador. Além disso, foram obtidos os tempos médios

por lista de separação. Por fim, o indicador selecionado para representar a produtividade de cada política de armazenagem é a taxa de expedição de SKUs por hora.

Os indicadores de distâncias horizontais e verticais foram mensurados em metros e quanto menores forem, melhores seriam para a produtividade do processo de separação de pedidos.

O indicador de tempo é consequência das distâncias percorridas, pois as velocidades da empilhadeira e do separador são constantes. Ele é mensurado em minutos e quanto menor for o tempo por viagem, melhor seria a produtividade do processo de separação.

Por fim, a taxa de expedição de SKUs por hora é o mais importante indicador de saída do modelo de simulação, pois é o único que mostra diretamente o ganho de produtividade das políticas de armazenagem propostas em relação à atualmente empregada no armazém.

5.7 TEMPO DE SIMULAÇÃO

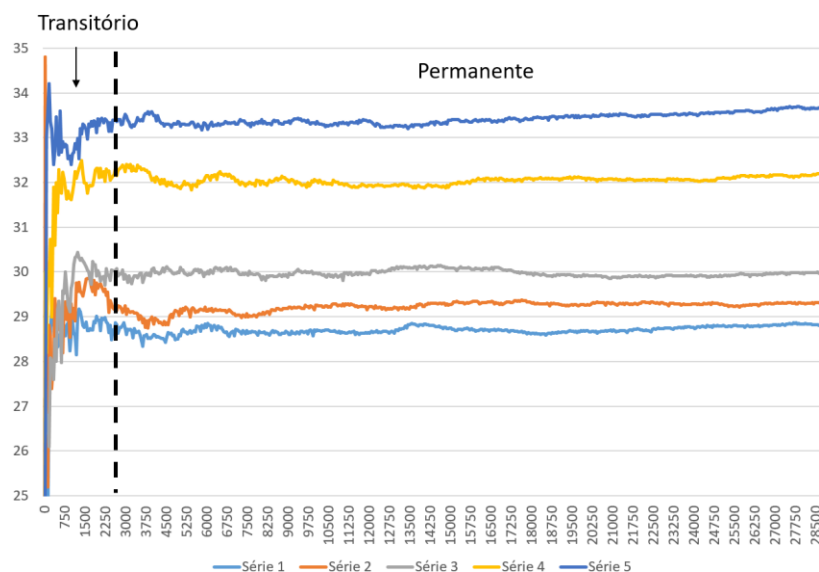
O tempo de simulação escolhido foi de 30 dias de simulação. Cada dia possui dois turnos de 8 horas para a realização dos processos de pré-picking e picking, dessa forma totalizando 28.800 minutos para cada repetição.

Na Figura 5.29, foi plotada a média de SKUs expedidos por hora para os cinco cenários simulados no processo de pré-picking. As políticas de armazenagem não foram identificadas propositalmente para não antecipar as análises feitas no capítulo de Discussão.

De acordo com Medina e Chwif (2010), para avaliar adequadamente o regime permanente, alguma das técnicas a seguir deve ser utilizada: fazer a análise da resposta por muito tempo, assim, as contribuições do regime transitório para o resultado final podem ser desconsideradas. A segunda alternativa seria encontrar alguma técnica a qual permita a eliminação da resposta transitória do sistema. Por fim, pode se adotar condições iniciais específicas que propiciem o sistema alcançar o regime permanente direto.

A segunda opção mencionada por Medina foi escolhida para se analisar corretamente o regime permanente. Dessa forma, o período transitório foi removido das análises feitas no capítulo de Resultados. O período considerado como transitório é até o momento de 2.500 minutos. O modelo de simulação de picking mostrou o mesmo perfil de evolução da média de SKUs expedidos por hora e, assim, teve o mesmo período transitório removido.

Figura 5.29 - Média de SKUs expedidos por hora



Fonte: Elaborada pelo autor

5.8 REPETIÇÕES DO MODELO DE SIMULAÇÃO

O indicador mais relevante para escolher qual a melhor política de armazenagem é a taxa de SKUs expedidos por hora. Assim, o intervalo de confiança e precisão foram mensurados em relação a esse indicador. O intervalo de confiança buscado é de 99% com precisão de até 0,5.

Foram realizadas 10 repetições para cada política de armazenagem e processo (pré-picking e picking). Como existem cinco políticas de armazenagem e dois processos na separação de pedidos, totalizou-se 100 repetições de experimentos.

Para cada política de armazenagem e processo foi calculada o intervalo de confiança de 99%. Como nenhuma das amostras possuiu uma precisão maior que 0,5, não houve necessidade de se realizar mais repetições, e as médias obtidas foram utilizados na comparação de resultados.

A Tabela 5.1 mostra a precisão para cada 10 repetições por política de armazenagem no processo de pré-picking e de picking. É notável que a maior precisão é do processo aleatório, significando que foram os experimentos que mais variaram.

Tabela 5.1 - Precisão para intervalo de confiança de 99%

	Aleatório	ABC H	ABC V	COI H	COI V
Pré-picking	0,24	0,15	0,06	0,16	0,12
Picking	0,20	0,08	0,07	0,10	0,09

6 RESULTADOS

Os resultados obtidos, a partir das simulações, tratam do total de viagens realizadas, das distâncias horizontais e verticais médias por lista de separação, do tempo médio por lista de separação e da taxa de expedição de SKU por hora. Dentre eles, o último indicador é o mais relevante para representar os ganhos de produtividade no processo de separação de pedidos para cada política de armazenagem analisada.

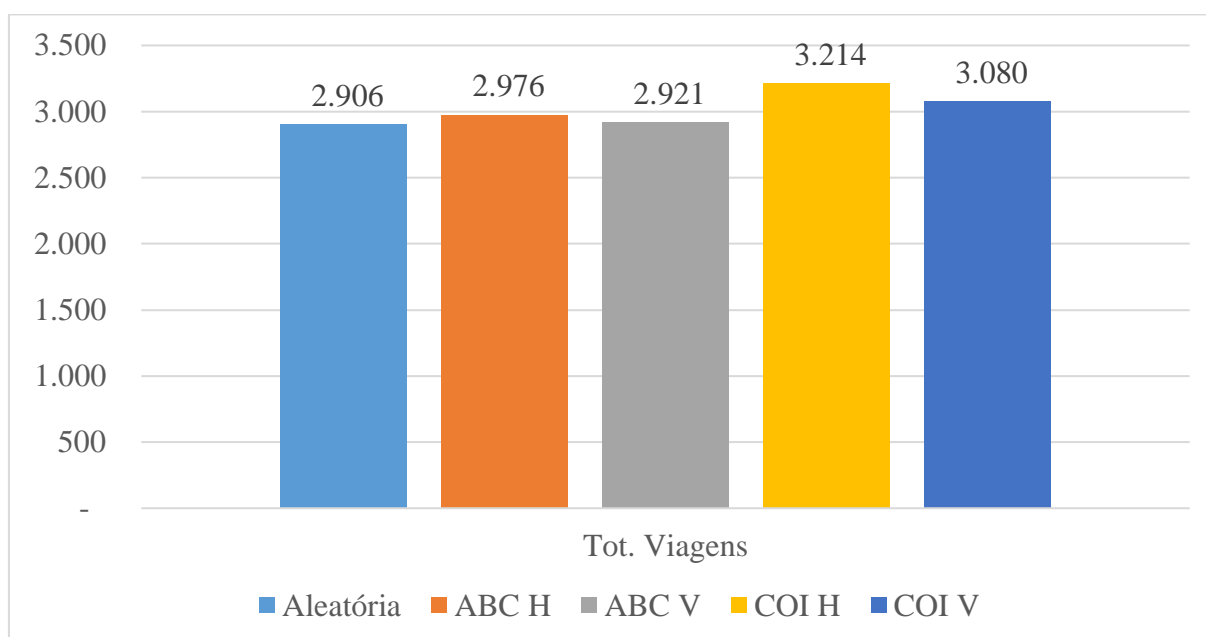
6.1 PICKING

O processo de picking não envolve distâncias verticais, pois todos os recolhimentos são realizados no nível do chão.

6.1.1 Total de Viagens

Cada viagem representa o recolhimento de todos os SKUs de uma lista de separação. A Figura 6.1 mostra o total de viagens realizadas pelo objeto Operator em cada política de armazenagem. A atual política de armazenagem do armazém (aleatória) apresentou o menor número, 2.906. Pela Figura 6.1, é notável que a política COI H é melhor em 10,6% da política atual.

Figura 6.1 - Total de viagens por política de armazenagem

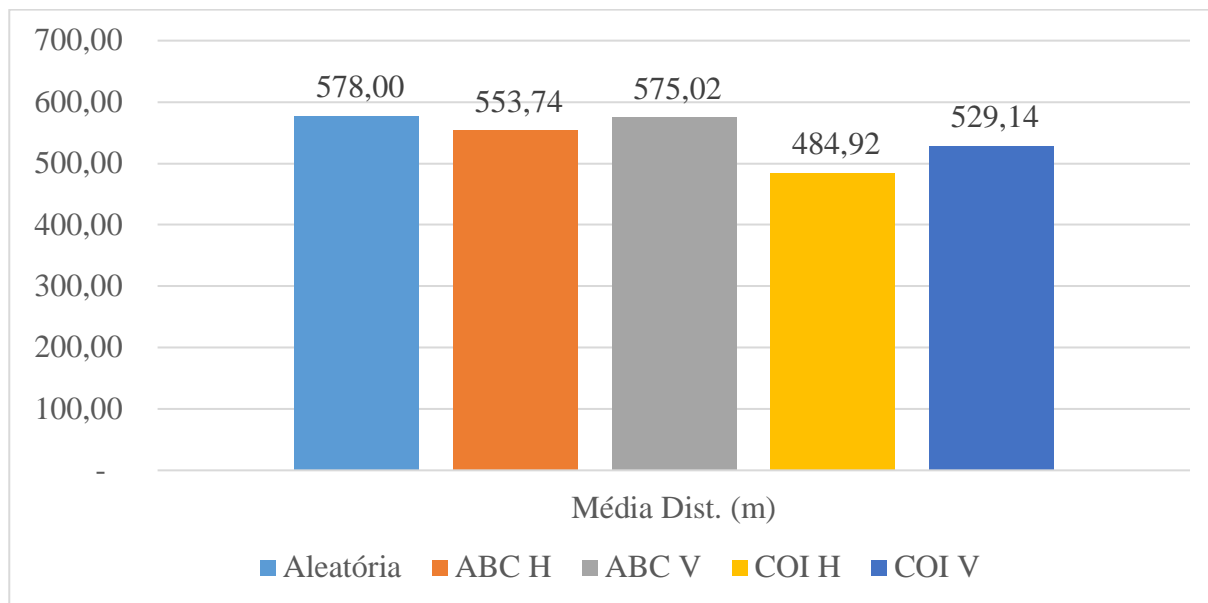


Fonte: elaborada pelo autor

6.1.2 Distância Horizontal Média por Lista de Separação

A Figura 6.2 apresenta os resultados das distâncias médias por política de armazenagem. É notável que a política COI H apresentou 484,92 metros de distância horizontal média por lista de separação, sendo 16,1% menor que a política atual (Aleatória).

Figura 6.2 - Distância horizontal média por lista de separação das políticas de armazenagem

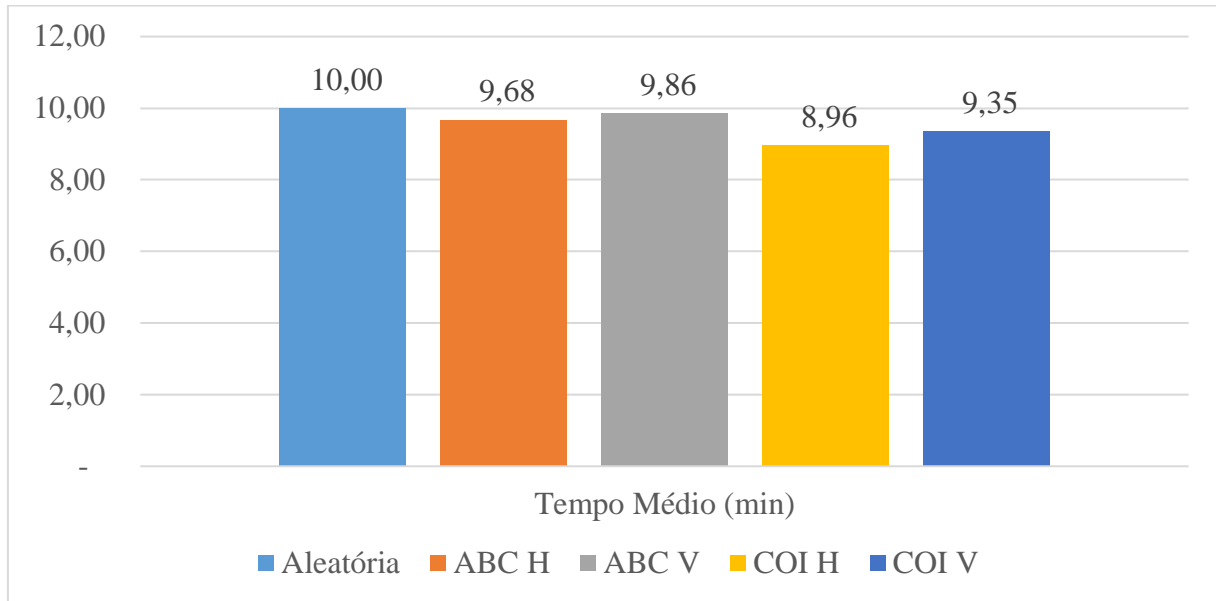


Fonte: elaborada pelo autor

6.1.3 Tempo Médio por Lista de Separação

A Figura 6.3 apresenta os resultados dos tempos médios por política de armazenagem. É notável que a política COI H apresentou 8,96 minutos em média por lista de separação, sendo 10,4% menor que a política atual (Aleatória).

Figura 6.3 - Tempo médio por lista de separação das políticas de armazenagem

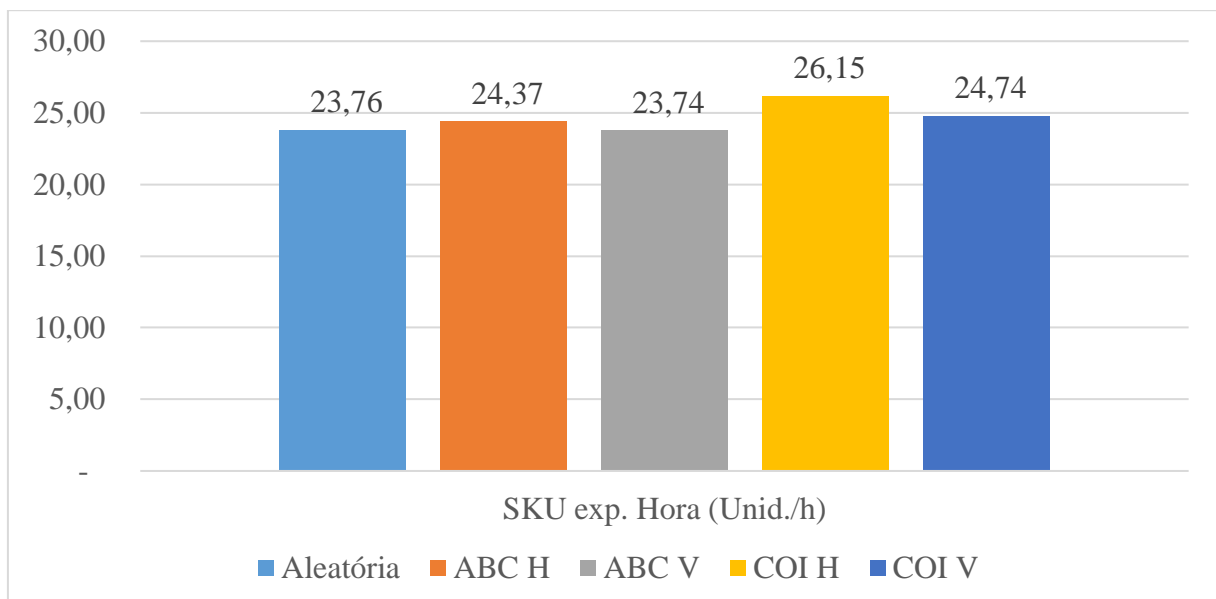


Fonte: elaborada pelo autor

6.1.4 Taxa de SKUs expedidos por hora

Por fim, a Figura 6.4 apresenta o indicador de produtividade de expedição de SKUs por hora. Como consequência de apresentar a menor distância horizontal percorrida, a política COI H resultou na maior taxa de expedição por hora. Pela Figura 6.4, é notável que a política COI H apresentou em média 26,15 unidades de SKU por hora, sendo 10% maior que a política atual (Aleatória).

Figura 6.4 - Taxa de expedição por política de armazenagem



Fonte: Elaborada pelo autor

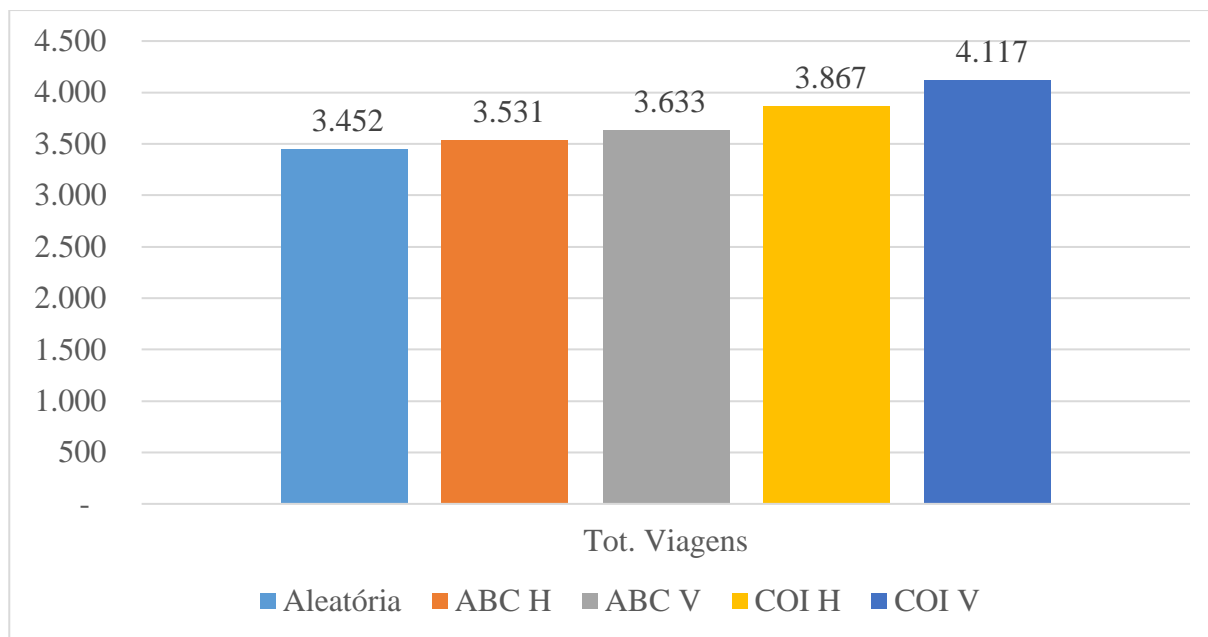
6.2 PRÉ-PICKING

No processo de pré-picking, existem deslocamentos verticais devido a movimentação do garfo para acessar as posições porta-paleta nos níveis das estruturas porta-paleta acima do chão. Assim, isso faz com que a priorização vertical faça sentido e os ganhos das políticas de armazenagem sejam intensificados.

6.2.1 Total de Viagens

A atual política de armazenagem do armazém (aleatória) apresentou o menor número, 3.452. Pela Figura 6.5, é notável que a política COI V é melhor em 19,3% da política atual.

Figura 6.5 - Total de viagens por políticas de armazenagem

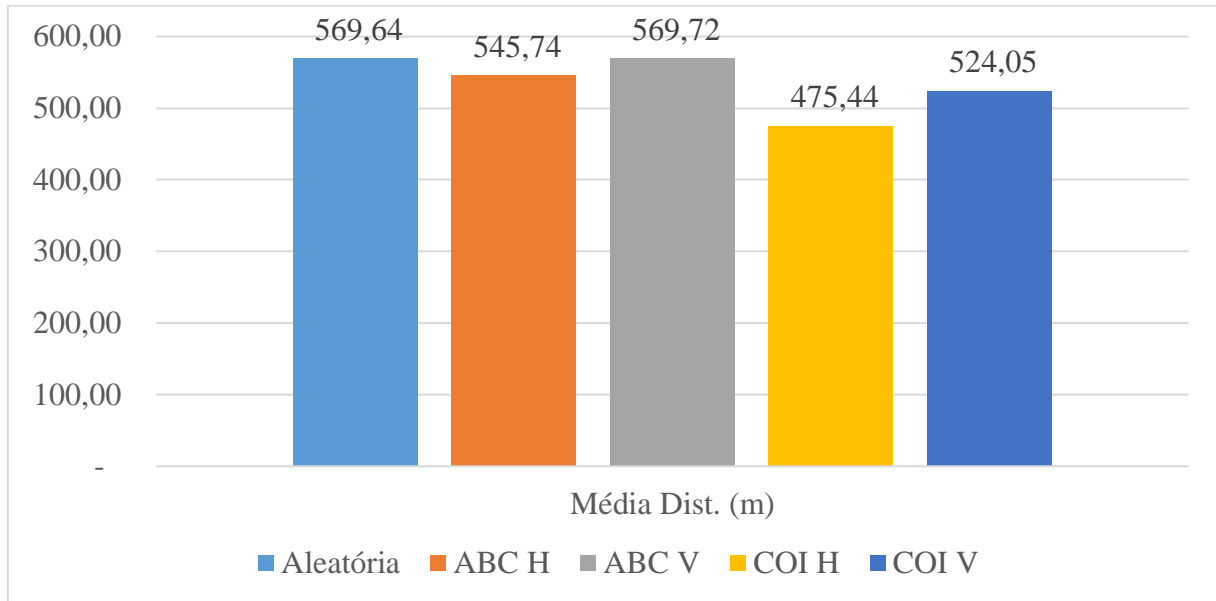


Fonte: Elaborada pelo autor

6.2.2 Distância Horizontal Média por Lista de Separação

A Figura 6.6 apresenta os resultados das distâncias horizontais médias por lista de separação em política de armazenagem. É notável que a política COI H apresentou 475,44 metros de distância horizontal média por lista de separação, sendo 16,53% menor que a política atual (Aleatória).

Figura 6.6 - Distância horizontal média por lista de separação das políticas de armazenagem

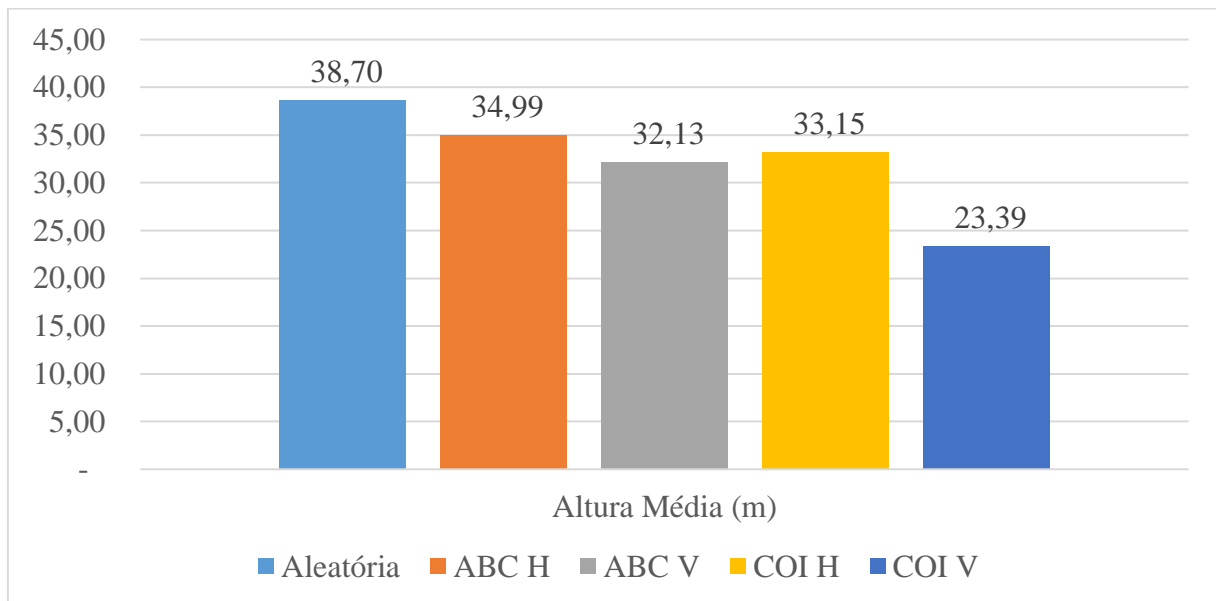


Fonte: Elaborada pelo autor

6.2.3 Distância Vertical Média por Lista de Separação

A Figura 6.7 apresenta os resultados das distâncias verticais médias por lista de separação em cada política de armazenagem. É notável que a política COI V apresentou 23,39 metros por lista de separação, sendo 39,6% menor que a política atual (Aleatória).

Figura 6.7 - Distância vertical por lista de separação das políticas de armazenagem

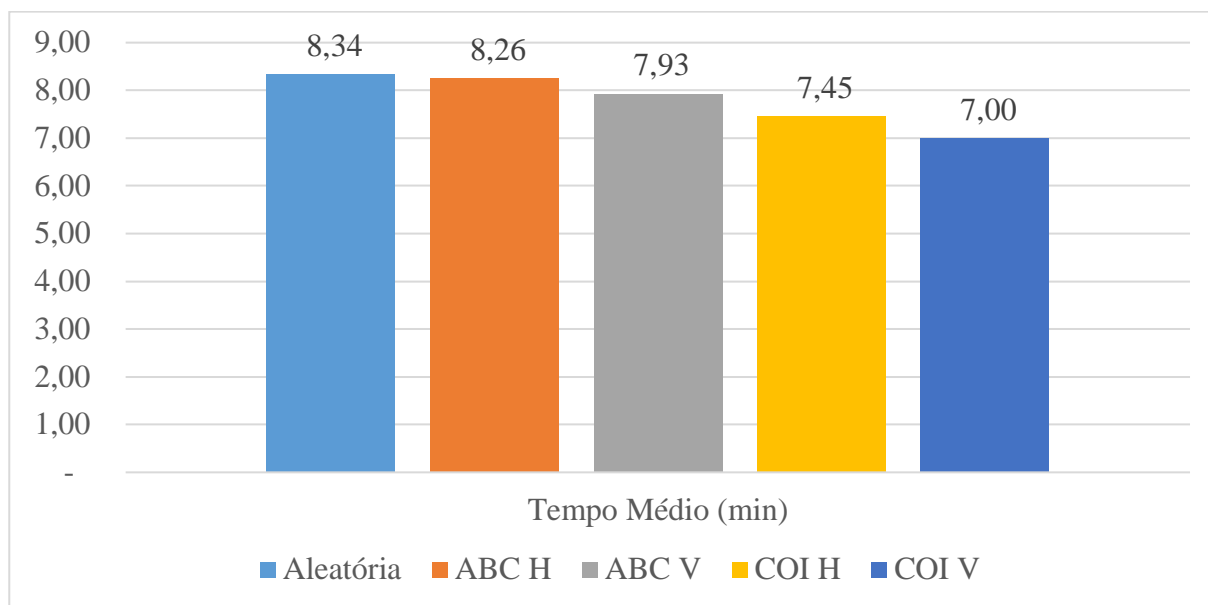


Fonte: Elaborada pelo autor

6.2.4 Tempo Médio por Lista de Separação

A Figura 6.8 apresenta os resultados dos tempos médios por política de armazenagem. É notável que a política COI V apresentou 7 minutos em média por lista de separação, sendo 16,1% menor que a política atual (Aleatória).

Figura 6.8 - Tempo médio por lista de separação das políticas de armazenagem

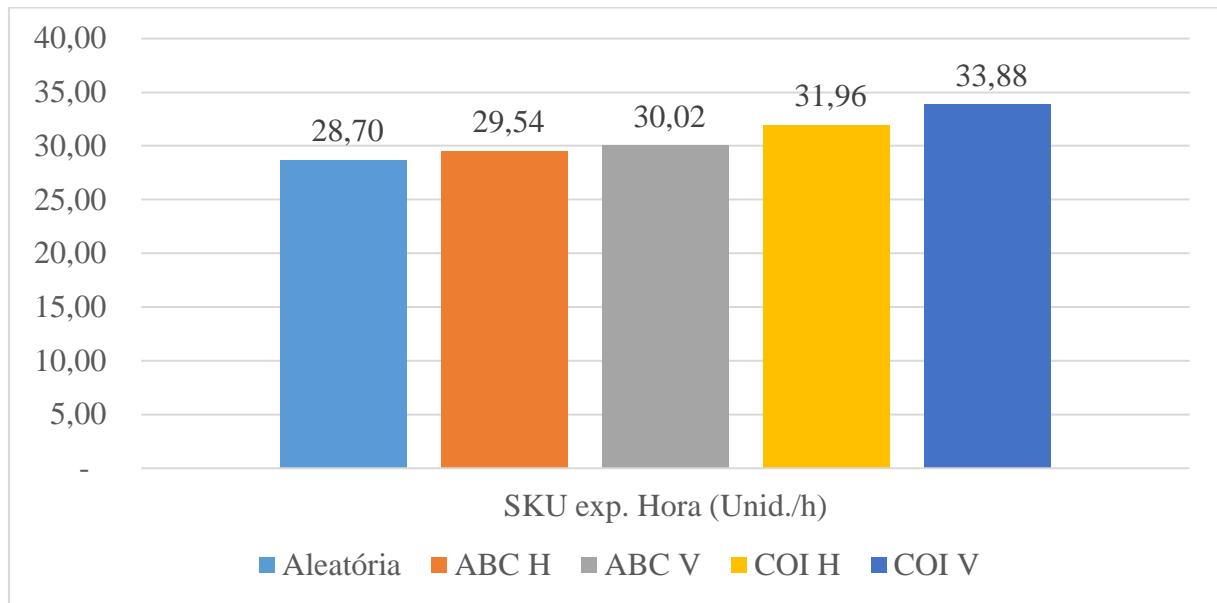


Fonte: Elaborada pelo autor

6.2.5 Taxa de SKUs expedidos por hora

Por fim, a Figura 6.9 apresenta o indicador de produtividade de expedição de SKUs por hora. Como consequência de apresentar o menor tempo médio por lista de separação, a política COI V resultou na maior taxa de expedição por tempo. Pela Figura 6.9, é notável que a política COI V apresentou 33,88 unidades de SKU expedidas por hora em média, sendo 18% maior que a política atual (Aleatória).

Figura 6.9 - Taxa de expedição para as políticas de armazenagem



Fonte: Elaborada pelo autor

7 DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos com a simulação das políticas de armazenagem para o processo de pré-picking e de picking, é possível aferir que a melhor política em relação a produtividade é diferente para cada um deles. Assim, faz-se necessária a escolha daquela que gere o maior ganho da produtividade global do armazém.

Considerando que os processos de pré-picking e picking são complementares e não simultâneos para os mesmos pedidos, é interessante que tenham produtividades semelhantes para que não haja ociosidade em um dos processos, pois a produtividade do processo de separação global será dada pela menor taxa entre elas. Dessa forma, a melhor política de armazenagem que o otimize a separação de pedidos de forma global é aquela que apresentar o maior mínimo de produtividade entre os dois processos.

Atualmente, existem 4 empilhadeiras com 4 operadores para o processo de pré-picking e 6 separadores para o processo de picking. Multiplicando a produtividade pelo número de empilhadeiras e separadores chega-se na produtividade horária do processo de pré-picking e de picking. A Tabela 7.1 demonstra esse cálculo.

Tabela 7.1 - Cálculo da mínima taxa de expedição diária entre os processos de pré-picking e picking para cada política de armazenagem

	Aleatório	ABC H	ABC V	COI H	COI V
Taxa de expedição por empilhadeira no pré-picking (unid./h)	28,70	29,54	30,02	31,96	33,88
Taxa de expedição por separador no picking (unid./h)	23,76	24,37	23,74	26,15	24,74
Capacidade Diária Pré-picking	114,79	118,16	120,10	127,84	135,52
Capacidade Diária Picking	142,55	146,22	142,47	156,87	148,41
Taxa de Expedição Mínima entre os Processos	114,79	118,16	120,10	127,84	135,52

A partir da Tabela 7.1, é notável que apesar do maior ganho no processo de picking ser obtido com a política COI H, a política COI V apresenta o maior mínimo de produtividade diária entre

o processo de pré-picking e picking. Portanto, a política de classe baseada no índice Cube-per-Order com priorização vertical é aquela que trará maiores ganhos de produtividade de forma global para a expedição de pedidos no armazém.

A atual política de armazenagem aleatória tem uma taxa de expedição de 114,79 SKUs/h, e se implementado a política vencedora, essa taxa subiria para 135,52 SKUs/h. A diferença entre elas é de 18%, sendo o suficiente para alcançar a meta de 5% de atrasos e ainda existir a possibilidade de zerá-los. Assim, fica claro que o objetivo deste trabalho foi realizado com sucesso.

Além disso, ficou claro pelos resultados obtidos que a classificação ABC por volume de vendas não apresentou resultados significativos em relação ao objetivo do trabalho, pois com uma melhoria de apenas 4,6% em produtividade não seria suficiente para o armazém diminuir sua taxa de atrasos (15%) até a meta (5%). A hipótese para isso, é que quando relacionado a assuntos de estocagem, o volume do objeto se torna tão importante quanto sua frequência de venda. Essa hipótese é ratificada pelos melhores resultados da classificação ABC por índice COI, que considerada o volume na sua classificação.

Outro fato interessante sobre a solução proposta neste trabalho é de que foi possível obter ganhos de produtividade sem o uso de recursos financeiros adicionais. Além disso, essa solução pode impactar na qualidade de serviço oferecido para os clientes, de forma a aumentar a satisfação deles, uma vez que os atrasos seriam diminuídos.

8 CONCLUSÕES

Este trabalho tem o objetivo de simular e selecionar a melhor política de armazenagem para minimização as distâncias e tempos necessário no processo de separação de um armazém pertencente a uma varejista de móveis, buscando, assim, o aumento da produtividade no processo de separação e expedição de produtos.

Foram realizadas duas classificações ABC, uma delas pelo volume de vendas e a outra pelo índice COI. Para completar a política de armazenagem, é necessário a priorização de distâncias verticais ou horizontais. Dessa forma, cada uma das classificações gerou duas políticas de armazenagem, totalizando quatro alternativas. A quinta é a armazenagem aleatória utilizada atualmente pelo armazém.

Para cada uma dessas cinco políticas de armazenagem, foi construído um modelo de simulação computacional para simular o processo de separação de pedidos e, assim, mensurar indicadores de distância, tempo e produtividade. As técnicas de duração e repetição utilizadas nos experimentos garantiu um intervalo de confiança de 99% nos resultados obtidos.

No processo de picking, a política de classificação ABC baseada no índice Cube-per-Order com priorização horizontal apresentou os melhores resultados em relação a política aleatória. Já no processo de pré-picking, a política de classificação ABC baseada no índice Cube-per-Order com priorização vertical apresentou os melhores resultados. Como a política vencedora para cada processo de separação é diferente, foi necessário escolher aquela que apresentasse o maior ganho de produtividade na separação de pedidos de forma global.

Considerando que os processos de pré-picking e picking são complementares e não simultâneos para os mesmos pedidos, a melhor política que o otimize a separação de pedidos de forma global é aquela que apresentar o maior mínimo de produtividade entre os dois processos. A partir disso, a política de classes baseada no índice Cube-per-Order com priorização vertical provou-se como a melhor solução para o atual problema de atrasos em expedições de pedidos enfrentado pelo armazém.

O objetivo do trabalho seria de diminuir a taxa de atrasos de 15% para a meta (5%). A política vencedora resultaria em 18% de ganho de produtividade no processo de expedição de pedidos. Assim, além do objetivo ter sido alcançado, a solução proposta por este estudo tem o potencial de ir além, e possivelmente zerar a taxa de atrasos do armazém.

REFERÊNCIAS

BARROS, M. C. **Warehouse Management System (WMS): Conceitos Teóricos e Implementação em um Centro de Distribuição.** PUC Rio de Janeiro, 2005.

CHOE, K.; SHARP, G.P. **Small parts order picking: design and operation.** Disponível em: <<http://www2.isye.gatech.edu/~mgoetsch/cali/Logistics%20Tutorial/order/article.htm>>. Acesso em: maio 2016.

DE KOSTER, R.; VAN DER POORT, E.S. **Routing orderpickers in a warehouse: a comparison between optimal and heuristic solutions.** IIE Transactions, v. 30, n. 5, p. 469-480, 1998.

DE KOSTER, R.; LE-DUC, T.; ROODBERGEN, K.J. **Design and control of warehouse order picking: A literature review.** European Journal of Operational Research, v. 182, n. 2, p. 481-501, 2007.

DEVORE, JAY; **Probability and Statistics for engineering and the sciences.** 5nd ed., Pacific Grove: Duxbury Press, 2000

GOETSCHALCKX, M.; RATLIFF, D.H. **Order picking in an aisle.** IIE Transactions, v. 20, n. 1, p. 531-562, 1988.

GOETSCHALCKX, M.; ASHAYERI, J. **Classification and Design of Order Picking.** Logistics World, v. 2, n. 2, p. 99-106, 1989.

HAUSMAN, W. H., Schwarz, L. B., & Graves, S. C. (1976). **Optimal storage assignment in automatic warehousing systems.** Management Science, 22(6), 629–638.

IMPROVING THE PRODUCTIVITY OF ORDER PICKING OS A MANUAL-PICK AND MULTI-LEVEL RACK DISTRIBUTION WAREHOUSE THROUGH THE IMPLEMENTATION OF CLASS-BASED STORAGE. Hong Kong: Elsevier. 2011.- Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417410008547>> Acesso em: maio de 2016

LAMBERT, D.M.; STOCK, J.R.; ELLRAM, L.M. **Fundamentals of Logistics Management.** Boston: Irwin, 611 p, 1998.

LE-DUC, T. 2005. 164 f. **Design and Control of Efficient Order Picking Processes**. Tese Ph.D. - RSM Erasmus University, Rotterdam, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1765/6910>> . Acesso em: maio 2016.

MANSURI, M. (1997). **Cycle-time computation and dedicated storage assignment for AS/RS systems**. Computers and Industrial Engineering, 33(1–2), 307–310

MEDINA, A. C.; CHWIF, L. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicação**, 3 ed., São Paulo, 2010

RATLIFF, H.D.; ROSENTHAL, A.S. **Order-Picking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Traveling Salesman Problem**. Operations Research, v. 31, n. 3, p. 507-521, 1983.

ROODBERGEN, K.J. 2001. **Layout and Routing Methods for Warehouses**. Tese Ph.D. - RSM Erasmus University, Rotterdam, 2001. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1765/861>>. Acesso em: maio 2016.

WINSTON, WAYNE L. **Operations research: applications and algorithms**. Belmont: Duxbury Press, 1994