



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PERNAMBUCO**
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ARTHUR ERALDO SALGUEIRAL LEITE

**APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE LOCALIZAÇÃO DE
ESTOQUE BASEADA EM CLASSES (ABC) PARA UM
SISTEMA *PICKER-TO-PART* EM UM CENTRO DE
DISTRIBUIÇÃO**

CARUARU
2018

ARTHUR ERALDO SALGUEIRAL LEITE

**APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE LOCALIZAÇÃO DE
ESTOQUE BASEADA EM CLASSES (ABC) PARA UM
SISTEMA *PICKER-TO-PART* EM UM CENTRO DE
DISTRIBUIÇÃO.**

Proposta de trabalho a ser apresentado ao
Curso de Engenharia de Produção do Centro
Acadêmico do Agreste - CAA, da
Universidade Federal de Pernambuco -
UFPE, como requisito para a disciplina
Projeto Final de Curso.

Área de concentração: Gestão da Produção
Orientador: Prof. Thalles Vitelli Garcez,
D.Sc.
Coorientadora: Prof. Marcele Elisa Fontana,
D.Sc.

Caruaru, 2018

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

L533a

Leite, Arthur Eraldo Salgueiral.

Aplicação da estratégia de localização de estoque baseada em classes (ABC) para um sistema picker-to-part em um centro de distribuição. / Arthur Eraldo Salgueiral Leite. - 2018.

43f. ; il.: 30 cm.

Orientador: Thalles Vitelli Garcez.

Coorientadora: Marcele Elise Fontana

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia de Produção, 2018.

Inclui Referências.

1. Armazenagem. 2. Controle de estoque. 3. Logística. I. Garcez, Talles Vitelli (Orientador). II. Fontana, Marcele Elise (Coorientadora). III. Título.

658.5 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2018-077)

ARTHUR ERALDO SALGUEIRAL LEITE

**APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE LOCALIZAÇÃO DE
ESTOQUE BASEADA EM CLASSES (ABC) PARA UM
SISTEMA *PICKER-TO-PART* EM UM CENTRO DE
DISTRIBUIÇÃO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia de Produção do
Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como
requisito para a disciplina **Projeto Final de Curso**.

Área de concentração: **Gestão da Produção**

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato
ALUNO APROVADO COM NOTA_____.

Caruaru, ____ de _____ de _____.

Banca examinadora:

Prof. DSc. Thalles Vitelli Garcez _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. DSc. Marcella Maia B. de Araújo Urtiga _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. DSc. Renata Maciel de Melo _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. DSc. Thalles Vitelli Garcez _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela minha saúde e por Ele estar sempre ao meu lado em todas as etapas da minha vida. Agradeço a todos os meus familiares pela torcida, em especial à minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão, que me oferecem diariamente uma base sólida de valores, companheirismo e afeto para que eu seja capaz de buscar os meus objetivos. À minha namorada, Ana Clara, pela ajuda, força e motivação nesta reta final. Muito obrigado meu amor. Agradecimentos a todos os amigos mais próximos e mais distantes que contribuíram de alguma forma nessa etapa da minha vida. Agradeço à equipe Colmeia pelos tantos momentos compartilhados que fizeram dessa trajetória de graduação bem mais prazerosa e saudosa, especialmente à Carlos Roberto, Matheus Cavalcante e Sandoval Luna, pela amizade e parceria em diversos momentos da minha vida. À todos os meus professores da UFPE-CAA, que dedicam-se diariamente em compartilhar conhecimentos e construir muito mais que excelentes profissionais, cidadãos de bem, em especial aos meu orientadores Marcelle Fontana e Thalles Garcez, pela orientação, apoio, confiança e, principalmente, pela paciência e incentivo em concluir mais esse desafio.

RESUMO

Na era industrial atual é evidente que as atividades logísticas exercem considerável influência no ganho de vantagem competitiva, pois com os processos de fabricação cada vez mais similares, é essencial diferenciar-se nos processos intangíveis que cercam o negócio, principalmente naqueles voltados ao Nível de Serviço prestado ao cliente. Dentre as várias atividades logísticas, especificamente na armazenagem, a separação de pedidos (*order-picking*) tem sido identificada como a mais dispendiosa e intensiva em termos de mão-de-obra de qualquer centro de distribuição (CD). Em ambientes de separação manual de pedidos, a distância percorrida é responsável por mais de 50% do tempo de trabalho, tornando-se um indicador de extrema importância. Neste sentido, uma forma eficiente de melhorar este indicador é solucionar o problema de atribuição do local de armazenamento (SLAP). Assim, por meio de um estudo de caso, este trabalho objetivou a proposição de uma política de estocagem alternativa que torne mais eficiente a separação de pedidos baseando-se na classificação ABC, considerando os critérios mais relevantes para o CD estudado. Para tanto, foi identificado que os critérios de volume de vendas e popularidade dos produtos são os mais importantes para a empresa, permitindo separar cada Unidade Mantida em Estoque (SKU) em classes e atribuir a cada classe uma área específica no armazém, para, então, direcionar os produtos para sua área específica. Por fim, foram coletadas informações das movimentações para simular e comparar os resultados obtidos após a implantação classificação ABC, identificando uma redução média de 47% na distância total percorrida e 33% no tempo médio de separação de pedidos.

Palavras-chave: Operações de armazenagem. Separação de Pedidos. Problema de atribuição do local de armazenamento (SLAP). Classificação baseada em classes ABC.

ABSTRACT

In the current industrial era, it is evident that logistic activities exert a considerable influence on the gain of competitive advantage, because with increasingly similar manufacturing processes, it is essential to differentiate in the intangible processes that surround the business, especially those related to the Service Level provided to the customer. Among the several logistics activities, specifically in warehousing, order picking has been identified as the most expensive and labor intensive of any Distribution Center (CD). In manual sorting places, the distance covered is responsible for more than 50% of the working time, making it an indicator of extreme importance. In this sense, an efficient way to improve on this indicator is to solve the storage location allocation (SLAP) problem. Thus, through a case study, this paper aimed at proposing an alternative stocking policy that would make the order separation based on the ABC classification more efficient, considering the most relevant criteria for the studied CD. To that end, it was identified that the criteria of sales volume and product popularity are the most important for the company, allowing to separate each Stock Keeping Unit (SKU) in classes and assign to each class a specific area in the warehouse, to then, direct the products to your specific area. Finally, we collected information from the movements to simulate and compare the results obtained after the ABC classification, identifying an average reduction of 47% in the total distance traveled and 33% in the average time of order picking.

Keywords: Storage operations. Order Picking. Storage Location Assignment Problem (SLAP). Class-Based Classification ABC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fluxo de produtos em um centro de distribuição.....	15
Figura 3.1 – Etapas para elaboração e aplicação da proposta de política de estocagem alternativa.	22
Figura 3.2 – Ruas do CD separado por áreas de segmento de mercado.....	24
Figura 3.3 - Vista lateral da divisão da estrutura porta-paletes.	26
Figura 4.1 – Vista superior das ruas e docas do CD.....	28
Figura 4.2 - Vista lateral da estrutura dos porta-paletes do CD.	29
Figura 4.3 – Fluxograma das principais operações de armazenagem no CD.....	30
Figura 4.4 – Representação da sequência de alocação de 10 paletes nos endereços vazios.....	31
Figura 5.1.1 - Spaghetti Chart do deslocamento na separação da ordem de separação sem a curva ABC.	33
Figura 5.1.2 - Spaghetti Chart do deslocamento para separação da Ordem de separação com a curva ABC.	34
Figura 5.3 - Percentual de movimentações de separação de pedidos dos itens de reposição na Área 2.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Classificação ABC dos 57 itens do mercado de reposição.	24
Tabela 3.2 – Tempos de armazenamento e recuperação de um palete em cada nível de altura	25
Tabela 5.1.1 – Exemplo dos locais de retirada de uma ordem de separação sem a curva ABC.	32
Tabela 5.1.2 - Exemplo de uma Ordem de separação com a curva ABC.	34
Tabela 5.1.3 – Comparação dos deslocamentos com e sem curva ABC de uma amostra de 10 ordens de separação.	35
Tabela 5.2.1 - Tempos de separação de uma ordem de separação sem a curva ABC.....	36
Tabela 5.2.2 - Tempos de separação de uma ordem de separação com a curva ABC.	36
Tabela 5.2.3 – Tempos de deslocamento horizontal com e sem curva ABC de uma amostra de 10 ordens.	37
Tabela 5.2.4 - Comparação dos tempos totais de separação com e sem curva ABC de uma amostra de 10 ordens.	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivo	11
1.2 Justificativa	11
1.3 Estrutura do trabalho	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Operações de armazenagem	14
2.1.2. Separação de Pedidos	16
2.1.3 Problema de Atribuição de Locais de Armazenamento (SLAP).....	19
2.1.4 Classificação ABC.....	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS	22
4 ESTUDO DE CASO	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
5.1 Distância Percorrida.....	32
5.2 Tempos de separação	35
5.3 Volume de movimentação na Área 2.....	38
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS	40
APÊNDICE A – Classificação ABC de todas as SKUs	43

1 INTRODUÇÃO

Em um cenário onde há alta competitividade, a necessidade de atender as demandas dos clientes torna-se cada vez mais aparente, principalmente devido à globalização e à situação econômica atual do país. Empresas de todos os ramos buscam vantagens competitivas e mudanças em sua estrutura visando a permanência no mercado. Dessa forma, estratégias de armazenamento de produtos acabados exercem hoje em dia papel tão importante quanto as estratégias de produção e vendas. É nesse contexto que o armazém e as operações executadas nele exercem importante papel estratégico no armazenamento e distribuição dos produtos, como forma de garantir a satisfação dos clientes da cadeia de suprimentos.

De acordo com Rouwenhorst et al. (2000), o fluxo de itens dentro de um armazém pode ser dividido em alguns processos, sendo eles o recebimento de produtos, movimentação, estocagem em locais de armazenamento, separação de pedidos e expedição. Dentre essas atividades, a operação de separação de pedidos do tipo *picker-to-part*, onde o selecionador de pedidos se locomove ao longo dos corredores para recuperar as *Stock Keeping Units* (SKUs - Unidades Mantidas em Estoque), são mais comuns (De Koster et al. 2007). Nesse tipo de separação de pedidos, todo manuseio é feito de forma manual, com ou sem o uso de empilhadeiras.

Segundo de Koster et al. (2007), a separação de pedidos está associada ao nível de serviço, logo é necessário que o tempo dispendido para recuperar os pedidos seja cada vez menor para que os produtos sejam enviados para os clientes dentro do prazo estabelecido. Dessa forma, esta torna-se a atividade mais crítica dentro do armazém, visto que, se não for executada de maneira adequada pode resultar em longos períodos de processamento e altos custos (Henn 2012), comprometendo a competitividade da empresa (Henn & Wäscher 2012). Por essas razões, os profissionais de armazenamento consideram a separação de pedidos como a área de maior prioridade para melhorias de produtividade (De Koster et al. 2007).

Grosse & Glock (2015) abordaram em seu estudo os quatros problemas mais importantes para o design e controle dos sistemas de separação de pedidos *picker-to-parts*: o design de layouts, as políticas de roteamento, a separação de pedidos por lote (*order batching*) e a atribuição de locais de armazenamento.

Dentre estes, aquele com maior impacto no desempenho do sistema de separação de pedidos é atribuição do local de armazenamento (SLAP). Isto porque esta influencia diretamente nos principais indicadores de desempenho do armazém ou centro de distribuição

(CD). Em outras palavras, os SKUs são atribuídos para locais de armazenamento e a atribuição desses locais influencia significativamente na capacidade de armazenamento, no rastreamento do inventário e na separação de pedidos (GU et al., 2007). Neste sentido, um problema de atribuição do local de armazenamento (SLAP) consiste em encontrar uma maneira eficaz de localizar produtos em um armazém, a fim de melhorar a eficiência operacional da separação de pedidos (PAN et al., 2012; PAN et al., 2015).

1.1 Objetivo

O objetivo deste estudo é a proposição de uma política de estocagem alternativa que torne mais eficiente a separação de pedidos baseado na classificação ABC, considerando os critérios mais relevantes para a organização estudada.

Para atender ao objetivo geral, os seguintes objetivos específicos devem ser atingidos:

- Destacar a importância da armazenagem eficiente e seu importante papel na cadeia de suprimentos;
- Descrever o método atual de armazenagem e como ele pode ser melhorado;
- Implementar uma nova política de atribuição dos locais de armazenamento levando-se em consideração os fatores e critérios mais relevantes para a empresa;
- Analisar e discutir os resultados alcançados.

1.2 Justificativa

Para De Koster et al. (2007), a separação de pedidos há muito tempo é identificada como a atividade mais trabalhosa e custosa para quase todos os armazéns ou CDs. Estima-se que 50-75% dos custos operacionais totais de um armazém podem ser atribuídos a operação de separação de pedidos (Coyle, Bardi & Langley, 1996). Consequentemente, os armazéns não têm outra escolha a não ser melhorar suas operações de separação de pedidos por meio de melhores estratégias de armazenamento, lote e roteamento (Gagliardi, Ruiz, & Renaud, 2008).

De acordo com Pan et al. (2012) o tempo de viagem é um desperdício, pois custa horas de trabalho e não agrega valor. Por isso, reduzir o tempo de viagem e o deslocamento na separação de pedidos impacta diretamente na produtividade da operação e, consequentemente, na manutenção de um nível de serviço satisfatório.

Para Ballou (2008, p. 73), “Nível de serviço é o desempenho oferecido pelos fornecedores aos seus clientes no atendimento dos pedidos. É fator-chave do conjunto de valores logísticos que as empresas oferecem a seus clientes para assegurar sua fidelidade”. Dessa forma, quanto

mais rápido e eficiente for a separação de uma ordem de pedido mais cedo o pedido estará disponível para envio ao cliente, satisfazendo suas necessidades e impactando diretamente no nível de serviço oferecido. Qualquer mau desempenho na separação de pedidos pode levar a um serviço insatisfatório e alto custo operacional para o armazém. Para operar com eficiência, o processo de separação de pedidos precisa ser robusto e controlado de maneira ideal (De Koster et al., 2007).

No Centro de Distribuição (CD) estudado, observou-se que não haviam critérios de armazenamento que facilitassem as operações de separação de pedidos e, conseqüentemente, aumentassem a produtividade no armazenamento bem como o nível de serviço ao cliente. Um dos problemas corriqueiros era a localização de paletes de alta movimentação nos locais mais distantes ou até mesmo nos níveis mais altos, ao invés de serem armazenados num local mais próximo das docas (I/O), facilitando a movimentação. Quanto mais alto o nível a acessar no porta-paleta maior será o esforço do operador visualizar e movimentar a carga, além da possibilidade de acidentes, envolvendo assim, riscos à segurança e ergonomia do operador.

Portanto, a definição de uma estratégia de armazenamento adequada possibilita uma melhor disposição dos produtos no armazém, vantagens significativas no tempo de separação de pedidos, na distância total percorrida, na redução dos custos associados à atividade de armazenagem e, conseqüentemente, no nível de serviço oferecido. Assim, diante do exposto, justifica-se a problemática escolhida e a necessidade do aprofundamento acerca dos fatores relevantes para a organização na política de atribuição do local de armazenamento visando uma maior eficiência e ganhos operacionais do ponto de vista da separação de pedidos.

1.3 Estrutura do trabalho

Para possibilitar um adequado entendimento da proposta do trabalho e de como o objetivo geral e os específicos serão atendidos, são apresentados a seguir os componentes estruturais dos capítulos. O trabalho é dividido em seis capítulos.

O capítulo um diz respeito à introdução, na qual se expõe a descrição do problema, os objetivos, a justificativa e a organização do trabalho. O capítulo dois é composto pelo referencial teórico dos conceitos fundamentais ao entendimento do trabalho, tais como: as operações de armazenagem, a separação de pedidos e suas principais decisões, o Problema de Atribuição de Locais de Armazenamento (SLAP) e a Classificação ABC. O capítulo três refere-se aos materiais e métodos utilizados no estudo de caso. O capítulo quatro apresenta o estudo de caso.

Na sequência, o capítulo cinco analisa e discute os resultados obtidos no estudo de caso, avaliando se houve redução da distância percorrida e nos tempos de separação de pedidos, e se houve aumento da movimentação na área desejada. E, por último, são apresentadas as considerações finais do estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Operações de armazenagem

Os armazéns e centros de distribuição (CD) são fundamentais nas cadeias de suprimentos (CS) modernas e desempenham um papel essencial no sucesso ou fracasso das empresas atuais. Embora muitas empresas tenham procurado possibilidades de fornecimento direto sincronizado aos clientes, ainda há muitas circunstâncias em que isso não é apropriado. Segundo Baker (2009), isso pode ocorrer porque os prazos de entrega do fornecedor não podem ser reduzidos de maneira eficaz em termos de custo em curtos tempos de espera exigidos pelos clientes e, portanto, esses clientes precisam ser atendidos pelo estoque, e não por pedidos.

Os armazéns envolvem altos investimentos e custos operacionais. Porém, segundo Lambert et al. (1998 *apud* De Koster, 2007), eles contribuem em várias missões da empresa, tais como:

- Conseguir economias de transporte (por exemplo, transporte combinado, carga completa de contêineres);
- Conseguir economias de produção (por exemplo, política de produção do “*make-to-door*”);
- Aproveitando descontos de compra de qualidade e compras futuras;
- Apoiar as políticas de atendimento ao cliente da empresa;
- Atender às mudanças nas condições de incertezas do mercado (por exemplo, sazonalidade, flutuações na demanda, concorrência);
- Superando as diferenças de tempo e espaço que existem entre produtores e clientes;
- Realização de logística de custo total mínimo proporcional ao nível desejado de atendimento ao cliente;
- Apoiar os programas *just-in-time* de fornecedores e clientes;
- Fornecer aos clientes um mix de produtos em vez de um único produto em cada pedido (ou seja, consolidação);
- Providenciar armazenamento temporário de material a ser eliminado ou reciclado (isto é, logística reversa);
- Fornecer um local de carregamento para transbordos (ou seja, entrega direta, *cross-docking*).

De acordo com GU et al. (2007), o fluxo de itens através do armazém pode ser dividido nos principais processos distintos demonstrados na Figura 2.1.

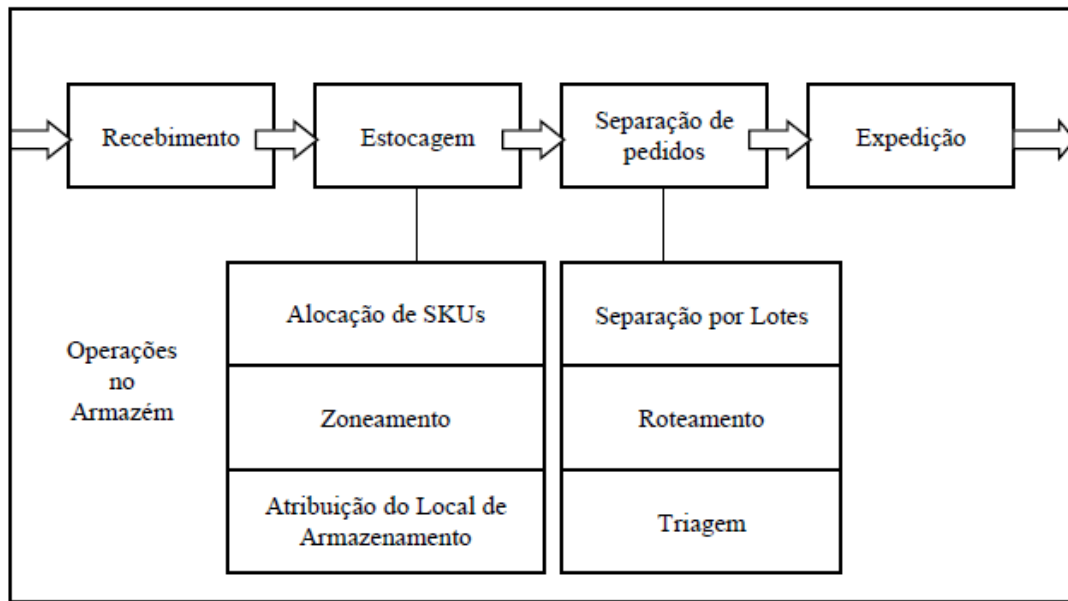


Figura 2.1 - Fluxo de produtos em um centro de distribuição

Fonte: Adaptado de GU et al. (2007)

- (a) **Recebimento:** É o primeiro processo de um item ao chegar no armazém. Os itens chegam no depósito e são descarregadas nas docas de recebimento. Nessa etapa, os produtos podem ser verificados ou transformados e aguardar o transporte para o processo seguinte;
- (b) **Estocagem:** Os itens são direcionados para locais de armazenamento. Existem várias políticas de armazenagem que prescrevem a decisão de localização desses itens;
- (c) **Separação de pedidos:** Refere-se à seleção e separação dos itens de seus locais de armazenamento para satisfazer as necessidades dos clientes, podendo ser realizada manualmente ou (parcialmente) automatizada. Posteriormente, esses itens podem ser transportados para o processo de triagem e/ou consolidação;
- (d) **Expedição:** Finalmente, os pedidos são verificados, embalados e eventualmente carregados em caminhões ou qualquer outro meio de transporte para serem expedidos para o cliente.

Neste sentido, o armazém tem duas funções principais: a estocagem e a separação de pedidos para a expedição. A estocagem se preocupa com a organização das mercadorias para alcançar alta utilização do espaço nas três dimensões (comprimento, largura e altura) e facilitar o manuseio eficiente de materiais. A função de estocagem pode ser moldada por três decisões

fundamentais: a frequência e o momento em que o estoque é reabastecido, onde as unidades mantidas em estoque (SKUs - *Stock Keeping Units*) são estocadas no armazém e onde deve ser distribuída e movida entre as diferentes áreas de armazenamento (GU *et al.*, 2007).

Enquanto isso, em termos de custos operacionais totais em um armazém, cerca de 55% é resultante das operações de separação de pedidos, sendo assim, considerada como a atividade mais cara no contexto dos armazéns e mais intensiva em mão de obra (De Koster *et al.*, 2007). Recursos como espaço, mão de obra e equipamentos precisam ser alocados entre os diferentes processos do armazém e cada processo precisa ser cuidadosamente implementado, operado e coordenado para atingir os requisitos de capacidade, taxa de transferência e nível de serviço a custos mínimos (GU *et al.*, 2007).

2.1.2 Separação de Pedidos

A separação de pedidos é uma operação fundamental no gerenciamento eficiente de um armazém. Pode-se simplificar a atividade de separação de pedidos como a recuperação das unidades mantidas em estoque (SKU) para atender a uma ordem de separação. A ordem de separação, segundo Cormier & Gunn (1992), consiste em um conjunto de itens pertencentes a uma entidade, por exemplo, um cliente ou uma remessa, que deve ser recuperado do armazém.

Ruben & Jacobs (1999) referem-se a dois sistemas de separação de pedidos em um armazém: (1) *Picker-to-Parts Systems* e (2) *Parts-to-Picker System*. No *Picker-to-Parts Systems* (Sistema selecionador por partes) há o emprego de seres humanos para separação de pedidos. Nesse sistema, o *picker* (separador de pedidos) se direciona aos locais de armazenamento para recuperar as ordens de pedidos. Uma vantagem é que devido à destreza do separador (homem), vários locais podem ser visitados em cada visita pelo armazém (RUBEN & JACOBS, 1999). De acordo com De Koster *et al.* (2007) esses sistemas podem ser distinguidos em dois tipos:

- a. *Low-level picking* (separação de pedido de baixo nível) – Nesse tipo de separação, a *picker* percorre os corredores de armazenamento e coleta manualmente os itens selecionados na Ordem de separação. Geralmente, na separação de pedidos manual, a distância da viagem é considerada como um objetivo primário no design e na otimização dos armazéns;
- b. *High-level picking* (separação de pedidos de alto nível ou separação de pedidos de homem a bordo) – A realização da coleta ao longo dos corredores de armazenamento é feita com o auxílio de veículos como empilhadeiras ou guindastes.

O *Parts-to-Picker System* (Sistema partes por selecionador) faz uso de sistemas de estocagem e recuperação automáticos (*automated storage and retrieval systems* - AS/RS). Nestes sistemas os itens contidos na ordem são entregues a um separador de pedidos estacionário por meio de um dispositivo automático (Ruben & Jacobs, 1999). O objetivo básico desses sistemas é mover automaticamente as SKUs para os separadores de pedidos, fazendo com que eles se concentrem apenas na parte produtiva do seu trabalho – a separação e a embalagem dos pedidos (BOYSEN *et al.*, 2017). As principais vantagens dos AS/RS sobre os sistemas *picker-to-parts* são: a alta utilização de espaço, a redução de custos de mão de obra, os menores tempos de recuperação de pedidos e um melhor controle do estoque (BOYSEN & STEPHAN, 2016).

Ao optar entre os dois sistemas de separação de pedidos, os gerentes de armazéns devem levar em consideração quais são as principais necessidades da sua operação, analisando, por exemplo, se a separação de pedidos é de alta complexidade e exige maior interação humana. Além disso, fatores como custos de investimento com pessoal e com *hardware* e o espaço físico disponível podem ser restrições na tomada de decisão. Os sistemas *picker-to-parts* requerem uma força de trabalho maior para realizar uma mesma saída em comparação com sistemas *parts-to-picker*, devido a possíveis rotas improdutivas de coleta feitas pelos separadores de pedidos através do armazém, por exemplo. Por outro lado, poucos são os investimentos com *hardware*, pois a coleta manual de materiais depende de equipamentos simples, tornando os sistemas *picker-to-parts* facilmente adaptáveis a diferentes situações de capacidade, sendo facilmente adicionados e removidos de um centro de distribuição. Assim, os sistemas *picker-to-parts* requerem um menor custo de investimento e são melhor escaláveis. O inverso ocorre com os sistemas *parts-to-picker* (BOYSEN *et al.*, 2017).

Apesar do uso da automação funcionar como um meio para reduzir os custos com mão-de-obra, muitas empresas optam por continuar a usar a separação de pedidos manual e isso é devido a variabilidade da demanda, a sazonalidade dos produtos, ou o grande investimento necessário para automatizar um sistema de separação de pedidos (PETERSEN & AASE, 2004).

2.1.2.1 Principais decisões em Sistemas de Separação de Pedidos

Embora a separação de pedidos pareça ser uma função relativamente simples de ser executada, vários são os fatores que podem afetar o desempenho e a eficiência dessa operação, tais como: o padrão da demanda dos itens, a configuração do armazém, a localização dos itens no armazém, o método de separação dos itens e a consolidação desses itens em pedidos do

cliente e o método de roteamento utilizado pelos separadores para determinar a sequência dos itens a serem colhidos (PETERSEN, 1999).

Desta forma, Petersen & Aase (2004) observaram três decisões que influenciam na eficiência das operações de separação de pedidos:

- a. Como escolher as SKUs?
- b. Como rotear os separadores de pedido?
- c. Como armazenar as SKUs?

A decisão de escolha das SKUs é permeada pelas políticas de coleta, que determinam quais SKUs estarão na lista de separação de pedidos e que serão, posteriormente, recuperadas de seus locais de armazenamento (PETERSEN & AASE, 2004). O separador de pedidos pode percorrer todo o armazém para cumprir um único pedido, ou uma combinação de pedidos (lote), além de, também, recuperar as SKUs dentro de uma única zona do armazém (zoneamento) (GU *et al.*, 2007). Assim, as principais estratégias que podem ser usadas neste sentido são:

- Zoneamento (Zoning): Nesse tipo de estratégia, a área de separação de pedidos é dividida em zonas. Cada selecionador de pedidos é designado para coletar a parte do pedido que está em sua zona atribuída. Possíveis vantagens do zoneamento incluem o fato de que cada selecionador de pedidos só precisa percorrer uma área menor, reduzindo o congestionamento de pessoas e máquinas, além disso, os coletores de pedidos tendem a se familiarizarem com os locais dos itens na zona. A principal desvantagem do zoneamento é que os pedidos são divididos e devem ser consolidados novamente antes do envio para o cliente (De Koster *et al.*, 2007).
- Separação de único pedido (Single-order picking): nessa estratégia o selecionador percorre a área de armazenamento recuperando as SKUs presentes em um único pedido;
- Separação de pedidos por lotes (Order batching): é o método de agrupar um conjunto de ordens para formar subconjuntos de pedidos (lotes) de uma única SKU, que podem ser coletados em uma única viagem pelo selecionador. Assim como no zoneamento, atividades adicionais serão necessárias para a separação na quantidade certa e consolidação das SKUs presentes em cada pedido (De Koster *et al.*, 2007);
- Operação de comando único (Single-command operation): é o método de operação em que é realizada a coleta de uma única unidade de carga (unit-load) por viagem (De Koster *et al.*, 2007).

A segunda decisão diz respeito às políticas de roteamento que visam reduzir os custos totais com o manuseio de material (GU *et al.*, 2007). Tais políticas determinam a sequência em que um operador coleta os itens na lista de separação de pedidos, podendo ser realizadas através de procedimentos heurísticos ou ótimos (PETERSEN, 1997). Na prática opta-se mais pelo uso das heurísticas, devido a algumas desvantagens do roteamento ótimo como, por exemplo, fornecer rotas confusas e ilógicas aos separadores de pedidos (De KOSTER *et al.*, 2007). Além disso, Gu *et al.* (2007) argumentaram que a sequência é definida buscando, geralmente, minimizar o custo total com o manuseio de materiais. Dessa forma, o ideal é buscar um equilíbrio entre os procedimentos heurísticos e ótimos para conferir maior ganho no desempenho das operações de separação de pedidos.

Finalmente, a terceira decisão está relacionada à como armazenar as SKUs. Essa questão pode ser resolvida determinando como ordenar ou classificar as SKUs e como atribuir estas SKUs nas localidades do armazém (DA SILVA *et al.*, 2015). Assim, Gu *et al.* (2007) afirmaram que o problema de atribuição de locais de armazenamento (SLAP) pode ser definido tendo conhecimento sobre a área de armazenamento, os locais de armazenagem e as SKUs que serão armazenadas.

Neste sentido, as políticas de armazenagem buscam proporcionar uma maneira efetiva de localizar as SKUs e, conseqüentemente, reduzir os esforços na operação de separação de pedidos (Pan *et al.*, 2012).

2.1.3 Problema de Atribuição de Locais de Armazenamento (SLAP)

Para Brynzér & Johansson (1996), o Problema de Atribuição de Locais de Armazenamento (SLAP) consiste na alocação das unidades de mantidas em estoque (SKU) para locais específicos no armazém. Gu *et al.* (2007) destacam que o SLAP pode ser formalizado considerando informações sobre a área de armazenamento, incluindo sua configuração física e layout de armazenamento; sobre os locais de armazenamento, incluindo sua disponibilidade, dimensões físicas e localização; e sobre o conjunto de itens a serem armazenados, incluindo suas dimensões físicas, demanda, quantidade e horários de chegada e saída.

Contudo, há várias formas de atribuição de produtos aos locais de armazenagem. Segundo Hausman & Schwarz & Garves (1976), existem três políticas de estocagem bastante populares utilizadas na gestão de armazéns: aleatória, dedicada e baseada em classes.

Segundo Petersen (1997), a ideia básica da armazenagem aleatória consiste em designar cada produto recebido a um local vazio de armazenamento aleatoriamente. Desse modo, infere-se que a política de estocagem aleatória somente tem sua eficiência posta em prática quando

utilizada em um ambiente que faça uso de algum Sistema de Gestão de Armazém (SGA), na intenção de rastrear as localizações de cada produto designado, caso contrário o tempo de busca e, também, o deslocamento percorrido por selecionadores para recuperar os pedidos será seriamente afetado. Martinez (2008) afirmaram que a maior vantagem desta política consiste na elevada taxa de ocupação do espaço ocioso, uma vez que qualquer local disponível se torna um candidato a receber qualquer produto, minimizando desse modo os requisitos de espaço. Entretanto, a quantidade de viagens envolvidas na recuperação de produtos por um selecionador manual tende a ser mais elevada. Por tais razões, a política aleatória é mais usual em sistemas *Parts-to-Picker*.

Já na estocagem dedicada cada local só pode ser usado para um produto específico, portanto, cada item tem sua própria classe de alocação (VAN DEN BERG, 1999). Os locais de armazenamento ótimos são determinados com base no custo. O custo é proporcional à distância de transporte durante a colocação e recuperação de itens no armazém pelo funcionário responsável (ZHANG et al., 2017).

Por fim, de acordo com Guerriero *et al.* (2013), a política de estocagem baseada em classes consiste em separar os itens em classes e atribui a cada classe uma área específica no armazém, onde os produtos serão alocados aleatoriamente dentro de sua classe de armazenamento. Assim, o aspecto crucial dessa abordagem é o critério de classificação. Os principais critérios são:

- Popularidade: Tal critério é traduzido através do número de vezes que um separador se dirige a um determinado local de armazenamento;
- Volume de negócios: A quantidade total de expedição de um SKU durante um determinado período;
- Volume: A demanda de um SKU em um determinado período de tempo multiplicado pelo seu volume;
- Densidade: A relação da popularidade de um SKU e o seu volume, permitindo identificar os itens com maior densidade de escolha;
- Índice cúbico por pedido (*cuber-per-order index* - COI): A relação entre o espaço requerido por um item e sua popularidade.

2.1.4 Classificação ABC

A gestão eficaz de estoques é um elemento crítico para as operações da cadeia de suprimentos, podendo proporcionar uma vantagem competitiva para a empresa quando realizada com eficiência. A alta quantidade de SKUs e o local ideal para aloca-las dentro do armazém é sempre uma decisão difícil para qualquer empresa. Para lidar com esse problema, surge a análise ABC no gerenciamento de estoque. Esta análise de classificação baseia-se na ideia de que uma grande parte de todos os custos está representada em alguns itens do estoque (LÓPEZ-SOTO et al., 2017). A classificação ABC é um método de classificação de informações para que se separem os itens de maior importância ou impacto, os quais são normalmente em menor número (CARVALHO, 2002). Os itens são classificados como (CARVALHO, 2002):

- de Classe A: de maior importância, valor ou quantidade, correspondendo a 20% do total – podem ser itens do estoque com uma demanda de 65% num dado período;
- de Classe B: com importância, quantidade ou valor intermediário, correspondendo a 30% do total – podem ser itens do estoque com uma demanda de 25% num dado período;
- de Classe C: de menor importância, valor ou quantidade, correspondendo a 50% do total – podem ser itens do estoque com uma demanda de 10% num dado período.

Essas faixas de valores citadas acima podem variar de acordo com o negócio em questão, não sendo uma regra fixa. Além do fator econômico e sua correlação com a quantidade de itens, outros fatores como o giro/frequência de consumo de um item em estoque atrelado a concentração do faturamento do item impactam diretamente na estratégia de como e onde investir no estoque.

Em armazéns que utilizam da política (A, B, C) de estocagem baseada em classes, os produtos são classificados em três classes distintas, onde em cada uma delas os itens compartilham de alguma característica em comum, podendo ser classificados de acordo com a margem de contribuição ao lucro, taxa de ocupação de armazém, popularidade em pedidos, dentre outros.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa possui abordagem quantitativa, uma vez que se fez uso de técnicas matemáticas para quantificação das informações necessárias tanto ao desenvolvimento quanto à conclusão do estudo. Além disso, um estudo de caso é realizado para coletar os dados necessários para análise. Desse modo, o estudo divide-se nas etapas listadas abaixo e conforme Figura 3.1:

1. Coleta de listas de pedidos de clientes para o período de análise com quantidades de cada item solicitado;
2. Proposição de uma estratégia de localização de estoque, a partir da classificação dos itens em 3 categorias (A, B, C), levando-se em consideração os critérios mais relevantes para a organização;
3. Obtenção de dados relevantes acerca do desenho de armazém;
4. Definição do modelo de análise de dados;
5. Simulação da eficiência de separação de pedidos para a estratégia aleatória de estoque (atual) e para a estratégia baseada em classes (proposta), considerando pedidos com diferentes mix de SKUs;

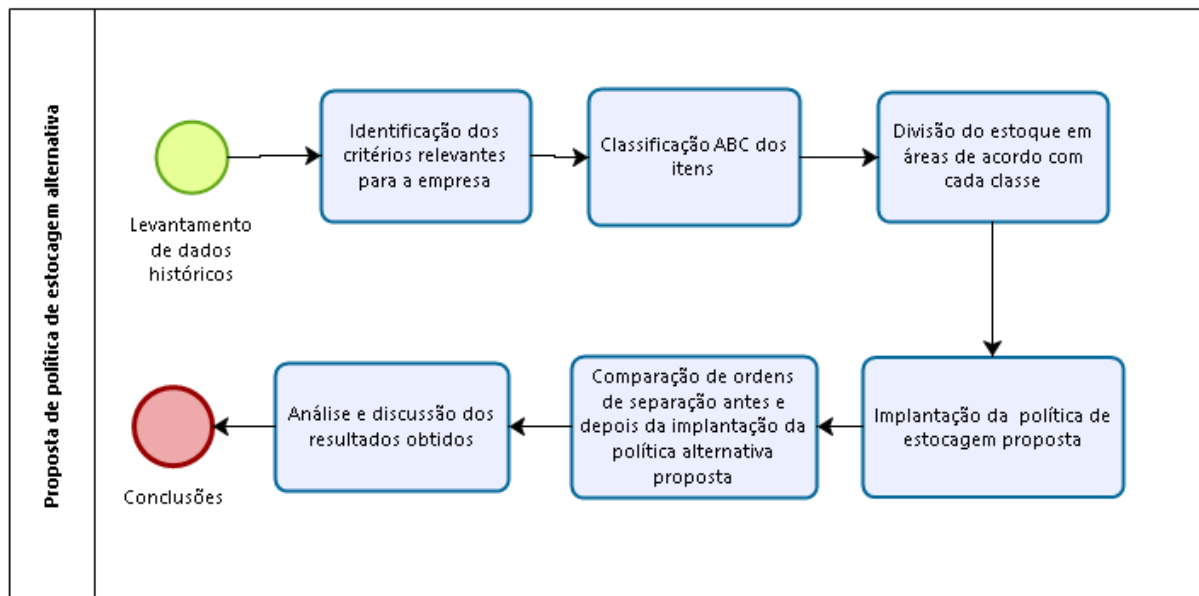


Figura 3.1 - Etapas para elaboração e aplicação da proposta de política de estocagem alternativa
Fonte: O Autor (2018).

Esse estudo envolveu 57 SKUs que são movimentadas diariamente no CD. Por haver metas de produtividade como quantidade de veículos expedidos por turno e tempo de carregamento de veículo, percebeu-se os longos e aleatórios trajetos realizados no processo de separação de pedidos, e a necessidade de adotar uma política de armazenamento de acordo com a classificação e mercado consumidor de cada item.

A classificação ABC foi feita para os itens que atendem ao mercado de reposição, pois esse representa 66,7% do volume expedido pelo CD, além de representar 47,8% do faturamento. Dessa forma, a classificação é obtida a partir da combinação dos itens de maior volume de vendas e de maior popularidade em pedidos. A classe A engloba os produtos com taxas de movimentação mais elevadas, cerca de 67%, enquanto que a classe C, é a classe composta por itens de menor taxa de movimentação, 10% do giro e a classe B, contém aqueles com níveis intermediários de movimentação, que correspondem a 23% do *turnover*.

Alguns itens têm demandas e clientes específicos, onde fatores como o perfil de veículo utilizado, o tipo de doca necessária e a proximidade dessas docas (I/O) específicas para tais finalidades, não sendo levado em consideração esses itens no estudo. Contudo, o CD foi dividido em três grandes áreas operacionais classificadas de acordo com o mercado que atende (Figura 3.2). Seguindo esse raciocínio, é proposto a divisão em 3 grandes áreas:

- I. Área 1: Itens que são customizados conforme exigência do cliente final;
- II. Área 2: Itens do mercado de reposição;
- III. Área 3: Itens para Exportação.

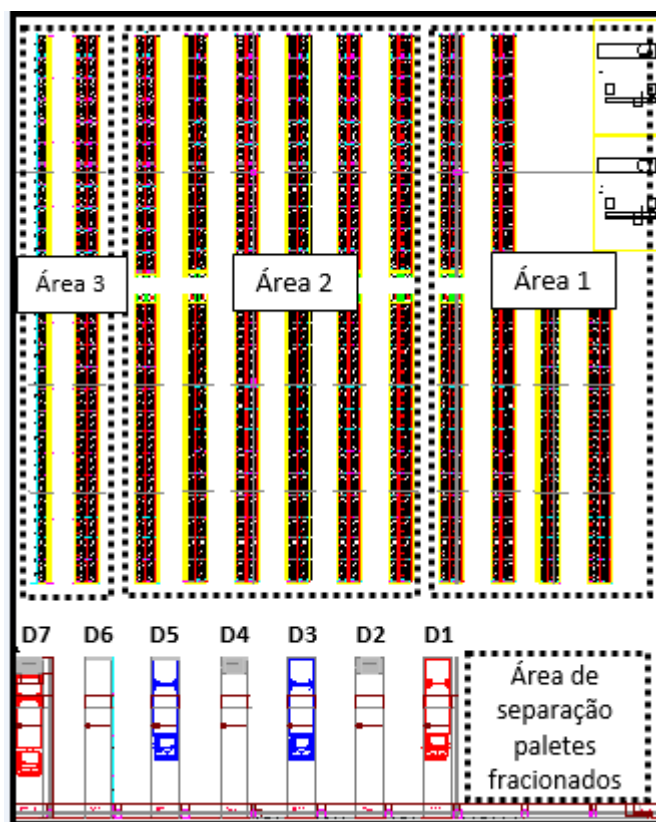


Figura 3.2 – Ruas do CD separado por áreas de segmento de mercado

Fonte: O Autor (2018).

Com o estoque devidamente dividido, passa-se a ter a área 2 como aquela de maior movimentação e concentração de volumes, por onde passam os itens classificados por classes. A classificação ABC foi sustentada no critério de volume de vendas, onde os itens A são os itens com maior volume expedido, em paletes, num determinado período. Tal critério foi classificado como o mais importante devido ao impacto direto que a movimentação dos itens tem sobre a produtividade da operação. A Tabela 3.1 mostra a quantidade de itens em cada classe e a sua respectiva participação na movimentação de expedição dos meses de Setembro/2017 a Março/2018. O Apêndice A detalha o volume movimentada de cada item detalhadamente.

Tabela 3.1 – Classificação ABC dos 57 itens do mercado de reposição

Classificação	Quantidade de SKUs	Percentual	Acumulado
AA	2	38,35%	38,35%
A	6	29,33%	67,68%
B	12	22,61%	90,3%
C	37	9,71%	100,0%
TOTAL	57	100 %	

Com os itens classificados em cada classe, é necessário identificar na estrutura porta-paletes quais áreas serão dedicadas para alocação das classes AA, A, B e C. Os principais fatores que influenciam na alocação dos endereços é a distância horizontal até as docas de recebimento e expedição (I/O) e o nível de altura do endereço.

Na Tabela 3.2 estão os tempos de armazenamento e recuperação de um paleta em cada nível de altura. Os dados foram obtidos através de cronometragem, considerando o tempo que a lança da empilhadeira leva para sair do chão e ir até cada nível de altura. Em todos os casos, foram utilizados um paleta de mesmo SKU com peso de 900kg, que é o peso médio dos paletes movimentados no CD. Pode-se perceber que para armazenar um paleta no nível 8 gasta-se em média 30 segundos a mais do que no nível 4 e 32 segundos a mais no momento da recuperação, por exemplo. Dessa forma, itens de grande popularidade armazenados em níveis mais altos vão requerer um maior tempo de movimentação, impactando diretamente na produtividade da operação. Além disso, quanto mais alto o nível a acessar no porta-paleta maior é o esforço do operador para visualizar e posicionar a lança da empilhadeira no local devido, assim como é maior a possibilidade de acidentes, envolvendo, assim, riscos à segurança e ergonomia do operador.

Tabela 3.2 - Tempos de armazenamento e recuperação de um paleta em cada nível de altura

Níveis de Altura	Armazenar	Diferença de tempo entre o nível e o seu antecessor imediato	Média	Recuperação	Diferença de tempo entre o nível e o seu antecessor imediato	Média
10	98	31		97	27	
9	67	7		70	8	
8	60	5		62	7	
7	55	6		55	9	
6	49	11		46	6	
5	38	8	9,3	40	10	9,6
4	30	5		30	5	
3	25	4		25	7	
2	21	7		18	7	
1	14	-		11	-	

Com os tempos médios para retirada dos paletes em cada nível (Tabela 3.2), é possível identificar que nos quatro primeiros níveis a diferença de tempo entre níveis é bem próxima, havendo uma maior variação do quarto para o quinto. Essa maior diferença é decorrente de uma restrição da própria empilhadeira, que para chegar ao quinto nível precisa acionar a segunda camada da torre de elevação, perdendo um pouco de desempenho. O mesmo acontece na transição do nono para décimo nível. Dessa forma, os níveis mais rápidos para coleta de paletes é até o quarto nível de altura, voltando a ficar mais rápido no quinto para o sexto nível, caindo de desempenho a partir do sétimo nível.

Além do critério de altura, é necessário identificar até que ponto é viável deslocar-se horizontalmente até o final das ruas e coletar um palete nos níveis mais baixos, ao invés de buscar um palete nos níveis mais altos de altura, porém nos locais mais próximos. Para isso, foram realizadas entrevistas informais com os selecionadores para entender qual a opção mais produtiva na visão dos mesmos. A conclusão obtida foi que os itens de maior movimentação devem ser alocados até a metade da rua, que é quando chega o túnel de movimentação, visto que ao se aproximar para atravessar o túnel os selecionadores são obrigados a diminuir a velocidade das empilhadeiras devido ao tráfego entre as ruas. Se não houver mais locais disponíveis para armazenamento até o túnel, é preferível que os itens AA sejam direcionados para os endereços após o túnel do que direcioná-los para os níveis mais altos.

Dentre os 8 itens classificados como A, pode-se perceber um volume muito maior de movimentação dos itens 1 e 2 em comparação com os outros de sua classe, sendo esses itens considerados como críticos para a produtividade da operação. Dessa forma, é necessário separar os endereços mais baixos para esses dois itens, distribuindo os itens de acordo com a Figura 3.3.

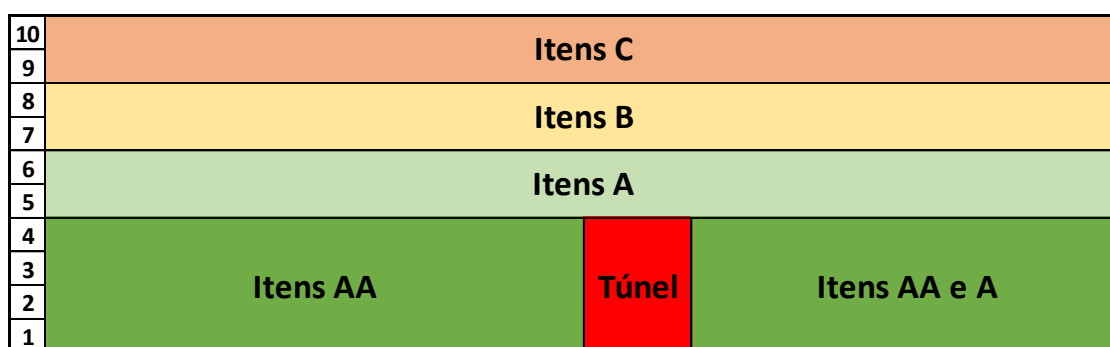


Figura 3.3 - Vista lateral da divisão da estrutura porta-paletes

Fonte: O Autor (2018).

Em suma, para mensurar os ganhos de produtividade ao definir a política de localização de estoque proposta, pode-se fazer uma comparação de ordens de serviços que foram separadas no estoque sem a curva ABC e posteriormente no estoque com a curva ABC, analisando as diferenças no deslocamento horizontal e no tempo de separação das ordens. Além disso, pode-se mensurar também a movimentação de paletes dentro da área 2, buscando identificar se houve ganhos de movimentação ou não. Critérios como ocupação média de cada item e a segurança do operador foram considerados para separar os itens em classes, uma vez que, quanto menos o operador acessar os níveis mais altos, menor serão os riscos com acidentes envolvendo desabamento dos paletes.

4 ESTUDO DE CASO

O trabalho em questão foi realizado no centro de distribuição (CD) de uma indústria de grande porte de acumuladores elétricos, com sede no Nordeste do Brasil. Ele é caracterizado como do tipo 3D, ou seja, realiza a armazenagem vertical por meio de porta paletes, onde ficam armazenadas as SKUs que são responsáveis por atender seis mercados diferentes. Atua nos mercados de reposição, montadoras, exportação, estacionárias, tracionárias e náuticas. Entre os produtos de reposição destacam-se os mercados de motocicletas e de automóveis, este com a linha automotiva para “veículos de passeio”, linha para caminhões e ônibus, e a linha para veículos START-STOP. Na classificação estacionária destacam-se a linha Clean, muito utilizadas em torres de empresas de telefonia, além das linhas VRLA e *Nobreak*, para ambientes controlados e seguros.

O CD foi inaugurado no primeiro semestre de 2016, distribuído em uma área construída de 12.000 m². Por ele passam todas os SKUs produzidos nas unidades fabris que ficam num raio máximo de 8km. As operações realizadas no CD são basicamente três: recebimento, armazenamento e expedição. Todos os SKUs, são movimentados em paletes, tendo estes diferentes pesos, variando de acordo com o item em questão.

Para movimentar os paletes são utilizadas empilhadeiras e paleteiras, ambas elétricas. As empilhadeiras são equipamentos de tração e elevação por acionamento elétrico, com o operador sentado, a bordo, sendo responsáveis por todas as movimentações dos paletes dentro do CD. Existe dois tipos de empilhadeiras com funções distintas: (1) Empilhadeiras Retráteis: chegam a alturas de elevação de até 12,5 metros e capacidade de carga de 1.400 a 2.500 kg, além de serem flexíveis e permitir raio de giro extremamente reduzido, operando em corredores de até 2,70 metros de largura. O CD dispõe de duas retráteis, sendo elas responsáveis pelo armazenamento e retirada dos paletes nos devidos locais; (2) Empilhadeiras Frontais: também são duas empilhadeiras do tipo frontal no CD, responsáveis pelas operações de carga e descarga dos caminhões. Dessa forma, as empilhadeiras retráteis e frontais trabalham em sintonia, sendo uma responsável pelos movimentos verticais, e a outra pelos movimentos horizontais, respectivamente. Já as paleteiras elétricas são utilizadas na separação dos paletes fracionados.

Todos os paletes recebidos são armazenados em estruturas porta-paletes até serem expedidos. A estrutura de porta-paletes no CD é dividida em 12 ruas, conforme Figura 4.1. Cada rua contém 10 níveis de alturas e 24 colunas, comportando 2 paletes por coluna, em ambos

os lados das ruas (Figura 4.2), representando um total de 9.804 posições porta-paletes. Cada posição porta-palete tem limite de capacidade de 1.500 kg.

Para auxiliar no recebimento e atribuição dos paletes para um determinado local (endereço), até a sua expedição, o CD conta com um sistema de gerenciamento de armazém, o WMS (*warehouse management system*), que gerencia tanto os níveis de estoque quanto as movimentações internas, o espaço, os equipamentos e as pessoas. O WMS funciona como um banco de dados onde são registrados, à medida que acontecem, todas as movimentações dentro do armazém. O registro dessas informações é feito através de códigos de barra. O sistema é interligado por meio de dispositivos móveis, denominado *coletores*, e por uma rede local que integra todos os equipamentos, deixando tudo conectado e em comunicação em tempo real.

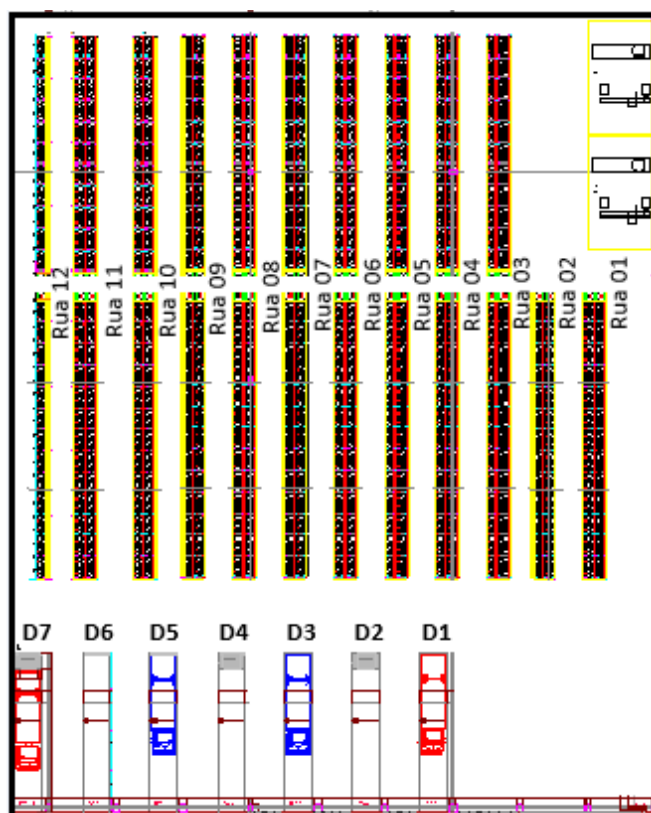


Figura 4.1- Vista superior das ruas e docas do CD

Fonte: O Autor (2018).

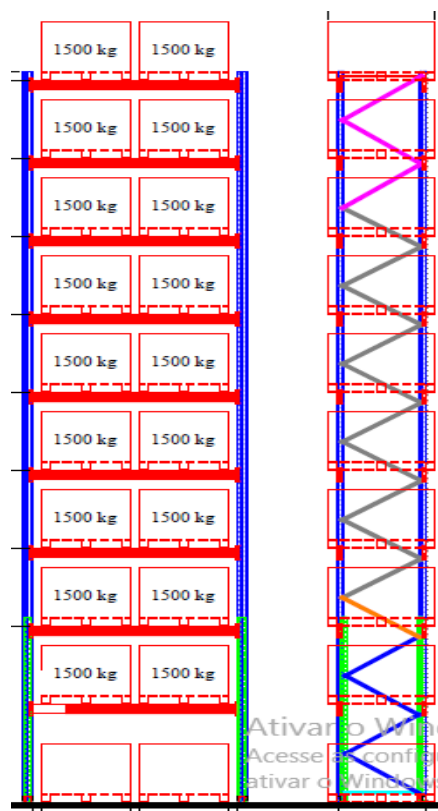


Figura 4.2 – Vista lateral da estrutura dos porta-paletes do CD

Fonte: O Autor (2018).

O fluxograma das operações básicas de armazenagem pode ser observado na Figura 4.3. É movimentado em torno de 700 paletes por dia entre entradas e saídas. Todos os paletes são conferidos antes que os mesmos sejam lançados no sistema, como forma de garantir que tudo que está discriminado na nota fiscal está de acordo com o volume recebido.

Após conferência e lançamento no sistema, o WMS procura os endereços vazios disponíveis para destinar cada paleta. Esse direcionamento é feito de forma aleatória, ou seja, pela política de estocagem aleatória, seguindo preferencialmente por endereços disponíveis de forma crescente das ruas. Dessa forma, o sistema vai direcionando os paletes para os endereços vazios das primeiras ruas para a última rua e dos níveis mais baixos para os mais altos.

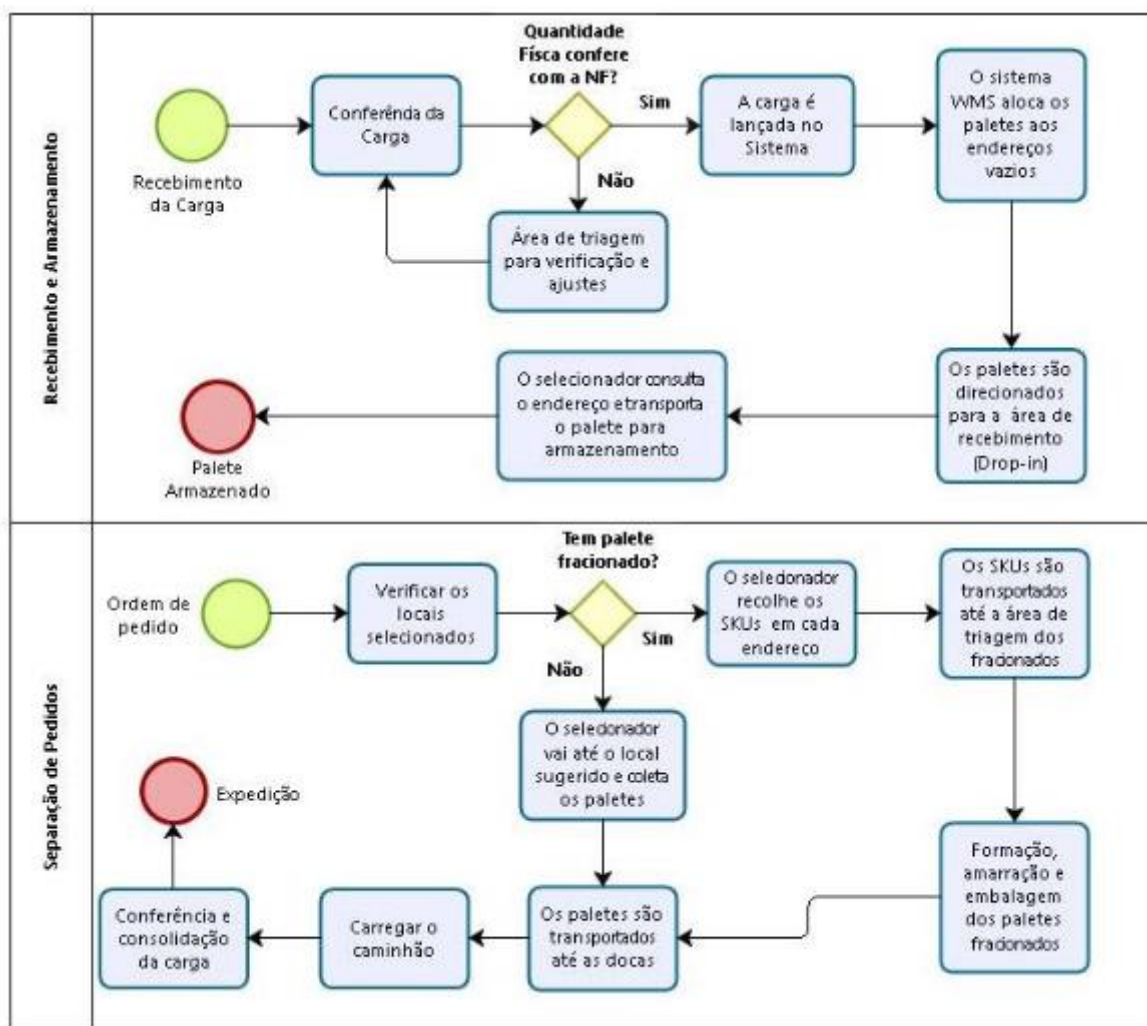


Figura 4.3 - Fluxograma das principais operações de armazenagem no CD.

Fonte: O Autor (2018).

A Figura 4.4 ilustra como seria a sequência de distribuição dos paletes na primeira rua com endereços vazios. Os números de 1 a 10 representam os níveis de altura, as letras de A a L representam as colunas, sendo os quadrados na cor branca os endereços vazios (disponíveis para armazenagem). Quanto mais próximo da coluna A, mais próximo o palete estará das docas (I/O). Dessa forma, o primeiro palete a chegar seria destinado para o endereço 1F, o segundo para o endereço 1J, o terceiro para o endereço 3C, e, assim, sucessivamente como mostra a Figura 3.4. No caso de chegada de um décimo primeiro palete, ele seria destinado para a próxima rua em sequência, seguindo a lógica de buscar o primeiro nível, depois o segundo, e assim sucessivamente.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
10												
9		10º										
8					8º				9º			
7	6º											7º
6												
5					5º							
4										4º		
3			3º									
2												
1							1º				2º	

Figura 4.4 – Representação da sequência de alocação de 10 paletes nos endereços vazios

Fonte: O Autor (2018).

Por não haver maiores critérios de armazenamento que facilitem a movimentação, minimize o deslocamento e, conseqüentemente, aumente a produtividade no armazenamento e na separação de pedidos, ocorre de paletes de alta movimentação serem armazenados no fim das ruas ou até mesmo nos níveis mais altos, ao invés de serem armazenados num endereço mais próximo das docas (I/O).

A operação de separação de pedidos segue o princípio FIFO (*First In First Out*), considerando a data de armazenamento de cada item. Dessa forma, devido ao alto número de SKUs, diferentes demandas de mercado e diferentes datas de entrada, o processo de separação de um pedido pode se tornar uma operação bem extensa e improdutiva. Além disso, itens de alto giro que foram alocados para um local mais distante das docas I/O e nos níveis mais altos do porta-paletes, exigirá do selecionador maior esforço, deslocamento e tempo na separação dos itens. Num cenário onde são movimentados mais de 700 paletes por dia esse tipo de problema de alocação pode acarretar em desperdício de tempos e movimentos, reduzindo a capacidade operacional do CD.

Diante do exposto, é necessário a definição de uma política de alocação de endereços como forma de aumentar a eficiência das operações de recuperação de SKUs.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para observar os resultados foram selecionadas, de forma aleatória, 10 ordens de clientes para a separação, entre os meses de julho e agosto de 2017. Cada ordem possui o registro das quantidades e locais de retirada de cada item, conforme o exemplo da Tabela 5.1.

5.1 Distância Percorrida

A distância percorrida foi medida usando o aplicativo Pedômetro que computa a soma de passos dado pelo usuário que está segurando o smartphone. Por ser a atividade mais crítica da operação, foi considerado apenas os deslocamentos da empilhadeira retrátil para coletar cada paleta em seu devido local, um por um, e colocar no piso. O deslocamento total tem o ponto PP entre as docas D2 e D3 como ponto de origem e ponto final, somando a distância percorrida para coletar cada paleta em seu devido endereço, desde a partida até o retorno, conforme Figura 5.1.1. Com a quantidade total de passos dados para coletar todos os paletes, é possível converter de passos para metros. Segundo Menezes (2017), o comprimento de um passo de uma pessoa é aproximadamente 40% da sua altura. Dessa forma, o valor em metros será a quantidade de passos multiplicado por 0,74 metros.

Tabela 5.1.1 – Exemplo dos locais de retirada de uma ordem de separação sem a curva ABC

Item	Classificação do item	Endereço (Bloco/Rua/Nível/Coluna)
060819	A	01/02/04/043
060896	A	01/03/06/038
060884	AA	01/08/02/044
060884	AA	01/08/04/060
060896	A	01/09/03/112
061476	A	01/10/03/079
061476	A	01/10/04/069
061476	A	01/10/04/072
061476	A	01/10/04/082
061076	AA	01/11/04/060
061076	AA	01/11/04/061
Distância Total Percorrida: 259 Metros		

Como pode-se observar na Tabela 5.1, a lógica básica do sistema é exibir para o selecionador os endereços de coleta de forma crescente pelo número da rua, considerando como regra a sequência de seleção do item o primeiro paleta que entrou é o primeiro que sai (*First in First out*). Dessa forma, o selecionador, com o auxílio da empilhadeira retrátil, coleta cada

paleta em seu respectivo nível de altura e baixa-o até o piso para que o operador da empilhadeira frontal busque o paleta, um por vez. Nos dados levantados não foi considerado o deslocamento da empilhadeira frontal. O *Spaghetti Chart* na Figura 5.1.1 ilustra o deslocamento da empilhadeira retrátil na Ordem de separação exemplificada.

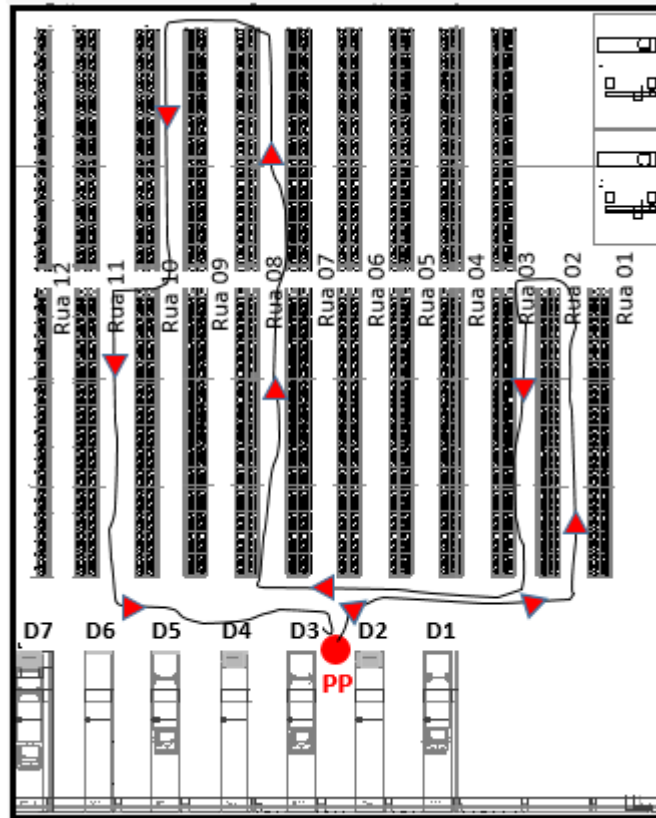


Figura 5.1.1 - *Spaghetti Chart* do deslocamento na separação da ordem de separação sem a curva ABC.

Fonte: O autor (2018).

Utilizando a Ordem de separação anterior e simulando-a com a ocupação do CD no dia 08 de abril de 2018, com a curva ABC implantada, seguindo o FIFO, os endereços selecionados são mostrados na Tabela 5.1.2, juntamente com o *Spaghetti Chart* na Figura 5.2 ilustrando o novo deslocamento.

Tabela 5.1.3 – Comparação dos deslocamentos com e sem curva ABC de uma amostra de 10 ordens de separação.

Ordem de Separação	Quantidade de Itens	Distância percorrida sem curva ABC (metros)	Distância percorrida com curva ABC (metros)	Redução (metros)	Redução (%)
1	10	270,8	107,3	163,5	60,4%
2	10	163,5	122,1	41,4	25,3%
3	11	259,7	90,3	169,5	65,2%
4	12	323,4	128,8	194,6	60,2%
5	8	168,0	79,2	88,8	52,9%
6	12	225,0	182,0	42,9	19,1%
7	19	305,6	173,9	131,7	43,1%
8	17	334,5	89,5	244,9	73,2%
9	10	281,9	187,2	94,7	33,6%
10	20	462,5	271,6	190,9	41,3%
		TOTAL		MÉDIA	
		2795,0	1431,9	136,3	47,4%

Pode-se perceber que, na amostra aleatória de 10 ordens de pedido, houve uma redução de aproximadamente 47,4% na distância total percorrida para separar uma Ordem de separação.

5.2 Tempos de separação

Outra forma de mensurar o ganho de produtividade na separação de ordens de serviço é comparando o tempo total dessa operação com o estoque sem a curva ABC e com a curva ABC. O tempo total de separação será o tempo médio de deslocamento horizontal para coletar cada paleta em seu respectivo endereço, somado com o tempo de elevação vertical da lança da empilhadeira para buscar no nível de altura.

Na Tabela 5.2.1 são mostrados os tempos para coletar cada item de uma ordem de separação da amostra aleatória. Foram utilizados os tempos médios de retirada cronometrados conforme a Tabela 3.1, de acordo com cada nível de altura que o paleta foi coletado. Em cada linha da tabela 5.2.1 são mostrados os itens que pertencem a ordem de separação e suas respectivas classes na classificação ABC e o tempo de retirada, em segundo, no nível de altura do endereço em que o paleta estava, conforme exibido na última coluna.

Tabela 5.2.1 - Tempos de separação de uma ordem de separação sem a curva ABC

Item	Classificação do item	Tempo Retirada (segundos)	Endereço (Bloco/Rua/Nível/Coluna)
044036	B	55	01/04/07/028
044036	B	62	01/04/08/024
060905	B	40	01/06/05/062
060905	B	40	01/06/05/104
060884	AA	25	01/08/03/054
061498	B	30	01/08/04/085
060884	AA	62	01/08/08/054
060884	AA	62	01/08/08/056
060896	A	62	01/08/08/082
061498	B	46	01/09/06/074
061498	B	40	01/11/05/049
060892	A	40	01/11/05/055
TOTAL		564	Segundos

Da mesma forma, a Tabela 5.2.2 mostra os tempos de retiradas para a separação do mesmo pedido com o estoque com a curva ABC implantada.

Tabela 5.2.2 - Tempos de separação de uma ordem de separação com a curva ABC

Item	Classificação do item	Tempo Retirada (segundos)	Endereço (Bloco/Rua/Nível/Coluna)
060905	B	18	1/5/2/107
060905	B	18	1/5/2/110
061498	B	25	1/5/3/122
061498	B	30	1/5/4/98
060896	A	40	1/5/5/54
061498	B	46	1/5/6/104
060892	A	46	1/5/6/71
044036	B	18	1/6/2/86
044036	B	40	1/6/5/96
060884	AA	11	1/7/1/26
060884	AA	11	1/7/1/40
060884	AA	11	1/7/1/41
TOTAL		314	segundos

Para levantar os tempos de deslocamento horizontal, pode-se fazer uma aproximação através da fórmula da velocidade média,

$$Velocidade\ Média\ (Vm) = \frac{Variação\ do\ Deslocamento\ (\Delta S)}{Variação\ do\ Tempo\ (\Delta T)}$$

dividindo as distâncias percorridas apresentadas na tabela 5.1.3 pela velocidade média de deslocamento das empilhadeiras. As empilhadeiras retráteis deslocam-se com uma velocidade

média de 7 km/h, ou 1,94 m/s. Assim, numa distância de 100 metros, o tempo médio de deslocamento seria $100/1,94 = 51,54$ segundos, por exemplo. A Tabela 5.2.3 compara os tempos de deslocamento horizontal da amostra de 10 ordens de separação, antes e depois da implantação da curva ABC.

Tabela 5.2.3 - Tempos de deslocamento horizontal com e sem curva ABC de uma amostra de 10 ordens

Pedido	Quantidade de Itens	Tempo de deslocamento sem curva ABC (segundos)	Tempo de deslocamento com curva ABC (segundos)
1	10	139,6	55,3
2	10	84,3	62,9
3	11	133,9	46,5
4	12	166,7	66,4
5	8	86,6	40,8
6	12	116,0	93,8
7	19	157,5	89,6
8	17	172,4	46,2
9	10	145,3	96,5
10	20	238,4	140,0
TOTAL		6681	4371

Contudo, somando os tempos os tempos de deslocamento horizontal e vertical de todas as ordens de separação da amostra, pode-se observar uma redução de 33,3% no tempo total de separação, conforme a tabela 5.2.4.

Tabela 5.2.4 - Comparação dos tempos totais de separação com e sem curva ABC de uma amostra de 10 ordens.

Pedido	Quantidade de Itens	Tempo total de separação sem curva ABC (segundos)	Tempo total de separação com curva ABC (segundos)	Redução (segundos)	Percentual (%)
1	10	499	381	117	23,5%
2	10	527	243	284	53,9%
3	11	458	422	36	7,9%
4	12	568	418	149	26,3%
5	8	332	229	103	31,0%
6	12	680	408	272	40,0%
7	19	1206	712	494	41,0%
8	17	862	480	382	44,3%
9	10	559	330	230	41,1%
10	20	990	749	241	24,4%
TOTAL		6681	4371	231	33,3%
				MÉDIA	

5.3 Volume de movimentação na Área 2

Com a implantação da política de classificação ABC dos itens que atendem ao mercado de reposição, que são os itens de maior movimentação no CD, espera-se que haja uma maior concentração da movimentação desses itens entre as ruas 05 e 10 (área 2) e consequentemente o aumento do volume de movimentação dos itens nessa área. Dessa forma, foi feito um levantamento histórico das movimentações de separação de pedidos dos itens de reposição, de Março/2017 a Março/2018, visando identificar o percentual mensal de saídas dessa região, conforme Figura 5.3.

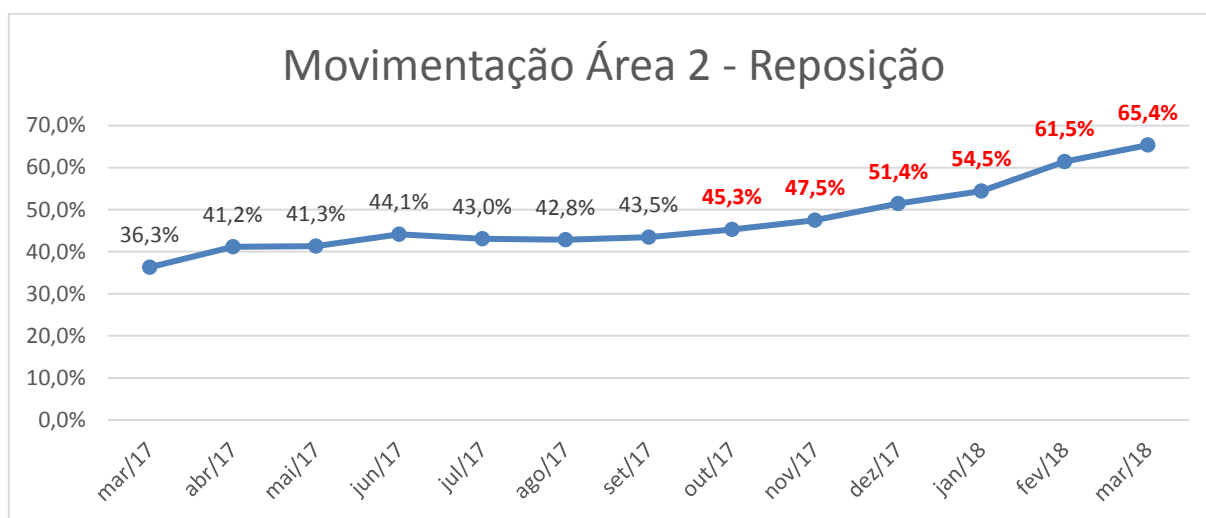


Figura 5.3 – Percentual de movimentações de separação de pedidos dos itens de reposição na Área 2
Fonte: O Autor (2018)

A implantação da política de classificação ABC foi finalizada em meados de Setembro/2017. Pode-se perceber um crescimento gradativo da movimentação dos itens de reposição dentro da Área 2 desde Outubro/2017, atingindo o pico de 65,4% em Março/2018, um crescimento de 29,1% comparado a Março/2017. Essa tendência de crescimento com política da classificação ABC implantada se dá pelo fato de que, por seguir a lógica do *FIFO*, é necessário que haja o giro total do estoque de cada item, para que os novos paletes recebidos sejam direcionados para a área desejável e seja coletado nesse mesmo endereço quando chegar a sua sequência no *FIFO*.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para atingir o nível de serviço desejado, é necessária uma estratégia de localização de estoque bem definida que proporcione a execução de operações de estocagem e separação de pedidos em alto desempenho. Vários critérios podem ser considerados ao classificar e atribuir localização aos produtos no armazém, tornando complexas decisões dessa natureza. Nesse contexto, este trabalho definiu uma política de localização de estoque baseada em classes, mais especificamente na curva ABC, num Centro de Distribuição (CD) no nordeste do Brasil.

Com o estudo de caso, foi possível identificar a utilização do critério de volume de vendas para alocação das classes de produtos e alocação dos produtos dentro de suas classes. Devido ao destaque de 02 SKUs que possuem um volume de vendas muito superior aos demais, foram definidas 04 classes: AA, A, B e C.

Como identificado, o armazém adotava a política de estocagem aleatória para atribuir locais de armazenagem aos seus produtos. Tal forma de estocagem pode deixar de oferecer melhorias significativas em suas operações de armazenagem, pois nenhum índice ou procedimento mais elaborado é utilizado nesta atividade. A literatura analisada indicou regras de associação dos locais de estocagem dos produtos, permitindo que sejam considerados objetivos que minimizem, por exemplo, o tempo e a distância percorrida em um armazém a fim de aumentar a eficiência operacional das atividades de separação de pedidos.

Diante os levantamentos e simulações de separação de pedidos antes e depois da implementação da política de armazenagem proposta, pode-se observar os resultados obtidos. Houve reduções significativas nos deslocamentos e tempos de separação necessários para concluir cada atividade de separação de pedidos. Além disso, a movimentação dentro da área desejada do armazém cresceu significativamente com a implantação da política apresentada neste trabalho. Por isso, pode-se concluir que a estratégia de alocação é válida e trouxe benefícios tangíveis e intangíveis para a operação de separação de pedidos.

Para trabalhos futuros é possível buscar outras formas de classificar os SKUs, como as estratégias de localização utilizando o Índice Cúbico por Pedido (COI index) e a Análise Entrada-Item-Quantidade (EIQ Analysis), por exemplo. Além disso, é possível medir os ganhos não só de produtividade, mas também os ganhos monetários, visto que, com o aumento da produtividade da operação, custos como o de *Mão-de-obra x Paletes Movimentados* tende a diminuir gradativamente com o aumento da capacidade de movimentação de cada selecionador.

REFERÊNCIAS

- BAKER, P.; CANESSA, M. ***Warehouse design: A structured approach***. European Journal of Operational Research, 193: 425-436.
- BALLOU, R. H. ***Logística empresarial – transportes, administração de materiais e distribuição física***. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- BOYSEN, N. B.; STEPHAN, K. **A survey on single crane scheduling in automated storage/retrieval systems**. European Journal of Operational Research. v. 254, p. 691–704, 2016.
- BOYSEN, N. B.; BRISKORN, D.; EMDE, S. **Parts-to-picker based order processing in a rack-moving mobile robots environment**. European Journal of Operational Research. v. 000, p. 1–13, 2017.
- BRYNZÉR, H.; JOHANSSON, M.I. (1996); **Storage location assignment: Using the product structure to reduce order picking times**. International Journal of production economics, 46-47: 595-603.
- CARVALHO, J. M. C. ***Logística***. 3 ed. Lisboa: Sílabo, 2002.
- CHAN, F. T. S.; CHAN, H. K. **Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage**. Expert Systems with Applications. v. 38, p. 2686–2700, 2011.
- CORMIER, G.; GUNN, E. A. **A review of warehouse models**. European Journal of Operational Research. v. 58, p. 3–13, 1992.
- COYLE, J. J., BARDI, E. J., & LANGLEY, C. J. (1996). **The management of business logistics**. St. Paul, MN: West.
- DA SILVA, D. D.; DE VASCONCELOS, N. V. C.; CAVALCANTE, C. A. V. **Multicriteria Decision Model to Support the Assignment of Storage Location of Products in a Warehouse**. Mathematical Problems in Engineering. v. 2015, Article ID 481950, 2015. doi: 10.1155/2015/481950.
- DE KOSTER, R., LE-DUC, T. E ROODBERGEN, K. J. (2007). **Design and control of warehouse order picking: A literature review**. European Journal of Operational Research, 182: 481–501.
- GAGLIARDI, J. P., RUIZ, A., & RENAUD, J. (2008). **Space allocation and stock replenishment synchronization in a distribution center**. International Journal of Production Economics, 115, 19–27.

- GROSSE, E. H.; GLOCK, C. H. **The effect of worker learning on manual order picking processes.** *International Journal of Production Economics*. v. 170, p. 882–890, 2015.
- GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F. **Research on warehouse operation: A comprehensive review.** *European Journal of Operational Research*. v. 177, p. 1–21, 2007.
- GUERRIERO, F.; MUSMANNO, R.; PISACANE, O.; RENDE, F. **A mathematical model for the Multi-Levels Product Allocation Problem in a warehouse with compatibility constraints.** *Applied Mathematical Modelling*. v. 37, p. 4385–4398, 2013.
- HAUSMAN, W.H.; SCHWARS, L.B.; GRAVES, S.C. **Optimal storage assignment in automatic warehousing systems.** (1976).
- HENN, S. (2012). **Algorithms for on-line order batching in an order picking warehouse.** *Computers & Operations Research*, 39: 2549-2563.
- HENN, S. E WÄSCHER, G. (2012). **Tabu search heuristics for the order batching problem in manual order picking systems.** *European Journal of Operational Research*, 222: 484-494.
- LÓPEZ-SOTO, D.; ANGEL-BELLO, F.; YACOUT, S.; ALVAREZ, A. **A multi-start algorithm to design a multi-class classifier for a multi-criteria ABC inventory classification problem.** *Expert Systems With Applications*. v. 81, p. 12–21, 2017.
- MARTINEZ, S. C. T. **An integrated stock assignment model for a warehouse fast picking área.** (2008).
- MENEZES, R.; "Como descobrir o comprimento do seu passo.", http://www.ehow.com.br/descobrir-comprimento-passo-como_33483/. Acessado em 11 de junho de 2018.
- PAN, J. C.-H., SHIH, P.-H. E WU, M.-H. (2012). **Storage assignment problem with travel distance and blocking considerations for a picker-to-part order picking system.** *Computers & Industrial Engineering*, 62: 527-535.
- PAN, J. C.; SHIH, P.; WU, M.; LIN, J. **A storage assignment heuristic method based on genetic algorithm for a pick-and-pass warehousing system.** *Computers & Industrial Engineering*. v. 81, p. 1–13, 2015.
- PETERSEN, C. G. **An evaluation of order picking routeing policies.** *International Journal of Operations & Production Management*. v. 17, p. 1098–1111, 1997.
- PETERSEN, C. G. **The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency.** *International Journal of Operations & Production Management*. v. 19, p. 1053–1064, 1999.
- PETERSEN, C. G.; AASE, G. R. **A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking.** *International Journal Production Economics*. v. 92, p. 11–19, 2004.

- PETERSEN, C. G.; AASE, G. R.; HEISER, D. R. **Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage.** *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management.* v. 34, p. 534–544, 2004.
- ROUWENHORST, B; REUTER, B.; STOCKRAHM, V.; VAN HOUTUM, G. J.; MANTEL, R. J.; ZIJM, W. H. M. **Warehouse design and control: Framework and literature review.** *European Journal of Operational Research.* v. 122, p. 515–533, 2000.
- RUBEN, R. A.; JACOBS, F. R. **Batch Construction Heuristics and Storage Assignment Strategies for Walk/Ride and Pick Systems.** *Management Science.* v. 45, P. 575–596, 1999.
- VAN DEN BERG, J. P.; ZIJM, W. H. M. **Models for warehouse management: Classification and examples.** *International Journal of Production Economics.* v. 59, p. 519–528, 1999.
- VICKSON, R. G., & Lu, X. (1998). **Optimal product and server locations in onedimensional storage racks.** *European Journal of Operational Research*, 105(1), 18–28.
- ZHANG, G.; NISHI, T.; TURNER, S. D. O.; OGA, K.; LI, X. **An integrated strategy for a production planning and warehouse layout problem: Modeling and solution approaches.** *Omega.* v. 68, p. 85–94, 2017.

APÊNDICE A – Classificação ABC de todas as SKUs

Item	SKU	Paletes Movimentados	Percentual	Acumulado	Classificação
1	60884	8266	24,43%	24,43%	AA
2	61076	4709	13,92%	38,35%	AA
3	60960	2978	8,80%	47,15%	A
4	60951	1524	4,50%	51,66%	A
5	60819	1468	4,34%	55,99%	A
6	60896	1424	4,21%	60,20%	A
7	60965	1279	3,78%	63,98%	A
8	68077	1249	3,69%	67,67%	A
9	61476	1054	3,12%	70,79%	B
10	48770	886	2,62%	73,41%	B
11	60900	813	2,40%	75,81%	B
12	60934	807	2,39%	78,20%	B
13	60905	724	2,14%	80,34%	B
14	61492	670	1,98%	82,32%	B
15	61046	551	1,63%	83,95%	B
16	60832	527	1,56%	85,50%	B
17	60926	427	1,26%	86,76%	B
18	60831	411	1,21%	87,98%	B
19	60913	409	1,21%	89,19%	B
20	60921	372	1,10%	90,29%	B
21	60827	317	0,94%	91,22%	C
22	60946	303	0,90%	92,12%	C
23	60888	273	0,81%	92,93%	C
24	60803	268	0,79%	93,72%	C
25	61008	255	0,75%	94,47%	C
26	68074	227	0,67%	95,14%	C
27	61012	198	0,59%	95,73%	C
28	60955	153	0,45%	96,18%	C
29	60942	136	0,40%	96,58%	C
30	60922	116	0,34%	96,93%	C
31	60938	113	0,33%	97,26%	C
32	66968	113	0,33%	97,59%	C
33	60794	90	0,27%	97,86%	C
34	60909	88	0,26%	98,12%	C
35	60892	84	0,25%	98,37%	C
36	61470	74	0,22%	98,59%	C
37	60836	69	0,20%	98,79%	C
38	60930	68	0,20%	98,99%	C
39	61480	62	0,18%	99,18%	C
40	61016	51	0,15%	99,33%	C
41	63806	49	0,14%	99,47%	C
42	723	35	0,10%	99,57%	C
43	721	25	0,07%	99,65%	C
44	719	21	0,06%	99,71%	C
45	60811	21	0,06%	99,77%	C
46	65571	15	0,04%	99,82%	C
47	60823	13	0,04%	99,86%	C
48	63809	13	0,04%	99,89%	C
49	58645	9	0,03%	99,92%	C
50	60880	7	0,02%	99,94%	C
51	58644	7	0,02%	99,96%	C
52	60799	4	0,01%	99,97%	C
53	58640	3	0,01%	99,98%	C
54	58646	3	0,01%	99,99%	C
55	60876	1	0,00%	99,99%	C
56	60836	1	0,00%	100,00%	C
57	58652	1	0,00%	100,00%	C
TOTAL		33834	100%		