



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

DIMENSIONAMENTO E ORGANIZAÇÃO DE UMA *FAST PICKING AREA* EM UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO: UMA PESQUISA-AÇÃO

Guillaume Boitel

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Maria Alice Ferruccio Cosenza, D.Sc.

Co-orientador: Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo, D.Sc

Rio de Janeiro

Fevereiro 2014

**DIMENSIONAMENTO E ORGANIZAÇÃO DE UMA *FAST PICKING AREA* EM UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO:
UMA PESQUISA-AÇÃO**

Guillaume Boitel

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO.

Examinado por:

Prof. Maria Alice Ferruccio Cosenza

Prof. Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo

Prof. Vinicius Carvalho Cardoso

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

Fevereiro de 2014

Boitel, Guillaume

Dimensionamento e organização de uma Fast Picking Area em um centro de distribuição: uma Pesquisa-Ação/Guillaume Boitel. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2014.

XI, 62 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Maria Alice Ferruccio Cosenza, Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia de Produção, 2014.

Referências Bibliográficas: p.61-63.

1. Logística 2. Centro de distribuição 3. Order-picking 4. Fast Picking Area

I. Maria Alice Ferruccio Cosenza *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia de Produção. III. Título.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Produção.

DIMENSIONAMENTO E ORGANIZAÇÃO DE UMA *FAST PICKING AREA* EM UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO: UMA PESQUISA-AÇÃO

Guillaume Boitel

Fevereiro/2014

Orientador: Maria Alice Ferruccio Cosenza

Co-orientador: Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo

Curso: Engenharia de Produção

No objetivo de reduzir o trabalho nas suas atividades de *picking*, os centros de distribuição (CD) são frequentemente organizados entre uma área *forward* (ou *Fast Picking Area*, FPA), pequena zona na qual os itens mais populares podem ser separados convenientemente, e uma área de ressuprimentos, que visa a ressuprir a FPA e a armazenar os itens que não são alocados na FPA. O problema *forward-reserve* busca a determinar quais itens devem ser alocados na FPA, em qual quantidade e qual volume deve ocupar a FPA.

Este trabalho apresenta uma fundamentação teórica sobre o tema, introduzindo as tendências atuais na cadeia de suprimento, o papel estratégico que desempenha o CD, o funcionamento interno dele e o estado da arte em relação ao problema *forward-reserve*. Esta etapa é o primeiro passo da nossa pesquisa-ação. Em seguida, um diagnóstico do CD estudado é apresentado antes de estabelecer uma proposta de melhoria incluindo uma implementação de FPA. Logo depois, o processo seguido na prática para organizar e implementar esta FPA será exposto articulando a teoria com a ação.

Palavras-chave: Logística, Centro de distribuição, *Order-Picking*, *Forward-Reserve problem*

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Industrial Engineer.

DIMENSIONING AND ORGANIZING A FAST PICKING AREA IN A DISTRIBUTION CENTER: AN ACTION RESEARCH

Guillaume Boitel

February/2014

Advisor: Maria Alice Ferruccio Cosenza

Co-advisor: Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo

Course: Industrial Engineering

In order to be more efficient in terms of picking activities, distribution centers (DC) are often divided between a forward area (or Fast Picking Area, FPA), being a small zone in which the most popular Stock Keeping Units (SKU) can be picked conveniently, and a reserve area, designed to replenish the FPA and store SKUs that are not allocated to the FPA. The forward-reserve problem seeks to identify which SKU should be allocated in the FPA, in what quantity, and what should be the FPA's total volume.

This paper presents a literature review on the subject, introducing the current supply chain's trends, the strategic role that DC play, their inner workings and the state of the art with respect to forward-reserve problem. This is the first step of our action research. A diagnosis of the DC studied is then presented, before establishing a proposal for improvements including an implementation of FPA. Soon after, the process put into practice to organize and implement this FPA will be exposed linking theory with action.

Keywords: Logistics, Warehouse, Order-Picking, Forward-Reserve Problem

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente a meus pais, responsáveis pela minha educação, para me ter dado a oportunidade de estudar sempre nas melhores condições e em particular para me ter apoiado durante este intercambio no Brasil.

Agradeço vivamente Luiza Fiorencio e o professor Dr. Luiz Felipe Scavarda para suas orientações neste projeto e para seus preciosos conselhos e métodos de trabalho.

Agradeço também a professora Maria Alice Ferruccio Cosenza para ter orientado este projeto.

SÚMARIO

1	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivos e delimitação da pesquisa	2
1.3	Metodologia	3
1.4	Revisão da literatura	4
1.5	Estrutura do trabalho	5
2	Fundamentação teórica	7
2.1	Contexto atual na cadeia de suprimento	7
2.2	Funções do CD	8
2.3	Os processos internos do CD	9
2.3.1	Recebimento e Put Away	10
2.3.2	Armazenamento	11
2.3.3	Order-picking	14
2.3.4	Divisão, agrupamento, controle e embalagem	19
2.3.5	Expedição	19
2.4	<i>Fast Picking Area</i> – O método do <i>Georgia Institute of Technology</i>	19
2.4.1	<i>Fast Picking Area</i>	20
2.4.2	Estimação dos ressuprimentos	20
2.4.3	Qual será a quantidade alocada de cada SKU?	21
2.4.4	Pontos de ressuprimentos e estoque de segurança	22
2.4.5	Quais SKUs serão escolhidos para alocação?	23
2.4.6	Armazenar tudo, nada ou a quantidade ótima	27
2.4.7	Redirecionar os pickings não rentáveis	27
2.4.8	Tamanho ótimo da FPA	28
3	Contextualização, diagnóstico e proposta	31
3.1	Perfil do local	31
3.1.1	O centro de distribuição	31
3.1.2	A Zona Ouro	33
3.1.3	Diagnóstico	35
3.2	Perfil dos itens	35
3.2.1	Análise ABCD	36
3.2.2	Diagnóstico	37
3.3	Proposta de melhoria	38
4	Dimensionamento e organização da <i>Fast Picking Area</i>	40
4.1	Estudos preliminares	40
4.1.1	Sazonalidade	40
4.1.2	Correlações	43
4.2	Layout dos porta paletes	49
4.3	Aplicação do modelo de otimização	53
4.4	Método de alocação dos itens	54
4.4.1	Eficiência de armazenamento	55
4.4.2	Diferentes posições consideradas	56
4.4.3	Regras de alocação	56
4.5	Resultados esperados	58
4.5.1	Balcão	58
4.5.2	Porta Paletes	58
4.5.3	Resumo	59
5	Conclusão	60
6	Referências Bibliográficas	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de pesquisa ação em gestão das operações.....	3
Figura 2 - Número de artigos relativos às operações dos CDs.....	6
Figura 3 - Funções típicas do CD e fluxos de materiais	10
Figura 4 - <i>Palet rack</i>	12
Figura 5 - Políticas típicas de organização do espaço por classes ABC.....	13
Figura 6 - Distribuição típica de tempo de <i>picking</i>	17
Figura 7 - Políticas de roteamento	18
Figura 8 - Ganho decrescente em função do volume alocado na FPA	25
Figura 9 - Planta do CD.....	32
Figura 10 - Planta da Zona Ouro	34
Figura 11 - Linhas de pedido acumuladas - Análise ABC.....	37
Figura 12 - Repartições dos itens entre as categorias ABCD (Mezanino, Zona Ouro, Sala de inflamáveis).....	37
Figura 13 - Repartição dos itens entre as categorias ABCD no Mezanino e na zona EPI	38
Figura 14 - Demanda média mensal e número de pickings médio mensal - Item "DVD- R 4,7GB".....	42
Figura 15 - Demanda média mensal e número de pickings médio mensal - Item "Camiseta Polo GG"	43
Figura 16 - Plantas atual e futura da Zona Ouro	51
Figura 17 - Organização do <i>layout</i> final dos porta paletes.....	52
Figura 18 - Volume v_i^* (%) alocado na FPA - SKUs > 10 000 cm ³	54
Figura 19 - Volume v_i^* (%) alocado na FPA - SKUs < 10 000 cm ³	55
Figura 20 - Seis posições possíveis para um paralelepípedo.....	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Repartição ABC dos itens do CD.....	36
Tabela 2 - Liberação de espaço na Zona Ouro.....	39
Tabela 3 - Categorias de correlação.....	45
Tabela 4 - Resultados da análise de porcentagem absoluta.....	45
Tabela 5 - <i>Pickings</i> improdutivos na área EPI em 2012.....	46
Tabela 6 - Comparação dos custos da atividade de <i>picking</i> para os itens EPI com e sem FPA.....	48
Tabela 7 - Dimensões e organização dos porta paletes da FPA.....	52
Tabela 8 - Resultados da alocação dos SKUs na FPA	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CD – Centro de Distribuição

BD – Banco de Dados

FPA – *Fast Picking Area* (Área de *Picking* Rápido)

TMEP – Tempo Médio Entre Pedido

SKU – *Stock Keeping Unit* (Unidade de Manutenção de Estoque)

JIT – *Just In Time*

R/E – Ponto de Recebimento/Expedição

EPI – Equipamento de Proteção Individual

WMS – *Warehouse Management System*

1 Introdução

1.1 Contextualização

A cadeia de suprimento pode ser definida como um processo integrado no qual um conjunto de atores econômicos (fornecedores, fabricantes, distribuidores e varejistas) trabalham juntos para comprar matérias primas, transformá-las em produtos acabados específicos e entregar esses produtos para os clientes. Esta cadeia pode ser dividida em dois sub-processos básicos e integrados, o Planejamento da Produção e Controle do Inventário, e a Distribuição e Logística. (BEAMON, 1998)

O processo de Distribuição e Logística determina como os produtos são recuperados e transportados do centro de distribuição (CD) para os varejistas. Rouwenhorst *et al.* (2000) afirmam que os custos de logística representam uma parte importante do custo total de produção.

Os sistemas de produção e as tendências no modo de consumo sofreram fortes mudanças conceituais nas últimas décadas. Com efeito, os consumidores tendem a comprar quantidades menores de produtos, mas com uma frequência maior. Pequenos tempos de resposta e altas velocidades de entrega se tornam posicionamentos estratégicos padrão. O aumento das possibilidades de personalização, e da variedade dos produtos e a diminuição dos seus ciclos de vida se democratizaram. Estas alterações sistêmicas impactaram as cadeias de suprimento, e especialmente os setores de distribuição e logística. Eles responderam baixando seus níveis de inventários e aumentando a velocidade e melhorando a eficiência de suas operações. (VAN DEN BERG e ZIJM, 1999)

Neste contexto, o CD, lugar onde se concentra a maior parte das operações, se torna estratégico. Os CDs representam a etapa da cadeia de suprimento na qual os itens param, por períodos mais ou menos longos, e são manipulados manualmente, o que gera custos em termos de espaço e de mão de obra. (BARTHOLDI e HACKMAN, 2011)

De acordo com ELA/AT Kearney (2004), o CD contribui para cerca de 20% dos custos de logística das empresas pesquisadas em 2003, as outras atividades sendo os serviços de valor agregado, a administração, os custos de inventário, o transporte e as embalagens.

Bartholdi e Hackman (2011) observaram que os CD são frequentemente organizados de acordo com modelos empíricos que, embora contada pela sabedoria popular, são longe de proporcionar os ganhos que pode proporcionar um modelo de otimização matemática.

No CD a atividade de *picking* ou separação é a mais trabalhosa em termo de mão de obra e também determinante do ponto de vista do serviço entregue ao cliente. Melhorias neste setor podem proporcionar ganhos importantes do ponto de vista dos custos de operação, da produtividade dos operadores e da velocidade de entrega. (DE KOSTER, LE DUC e ROODBERGEN, 2007)

Enfim, segundo Frazelle (1996) a atividade de *picking* é responsável por 65% dos custos do CD. Um planejamento cuidadoso dela é então vital para o bom funcionamento do CD.

1.2 Objetivos e delimitação da pesquisa

Este trabalho estuda uma política de armazenamento chamada *Fast Picking Area* (FPA) que visa a reduzir o tempo de trabalho agregado de mão de obra durante a atividade de *picking*.

A FPA é uma área na qual são armazenados os itens mais populares do CD, em pequena quantidade, para que a maior parte dos *pickings* possa ser realizada em uma área relativamente pequena. Esta política de armazenamento leva a uma redução dos caminhos percorridos pelos operadores e então, a uma diminuição dos tempos de *picking*.

Este estudo procura a explicar a escolha dos itens selecionados para alocação, o volume alocado a cada um e a organização do *layout* desta FPA. Primeiramente, uma revisão bibliográfica é exposta visando a introduzir o papel estratégico que desempenha o CD na cadeia de suprimento, a detalhar seu funcionamento interno e a apresentar a teoria matemática atrás do modelo de dimensionamento, organização e otimização da

FPA. Em seguida, uma aplicação concreta deste modelo a um CD da empresa XYZ é apresentada, com todas as dificuldades encontradas e todas as soluções desenvolvidas.

Este estudo se restringirá à organização e à movimentação dos itens ou caixas menores que um palete, ou seja, à movimentação da menor unidade possível do item. As soluções escolhidas não serão necessariamente as soluções ótimas, mas aquelas de acordo com as restrições impostas pela empresa XYZ. O tempo limitado da nossa pesquisa impedirá uma avaliação do CD pós-implementação.

1.3 Metodologia

Este estudo foi desenvolvido seguindo um modelo de pesquisa-ação (Figura 1). A pesquisa-ação é definida como uma pesquisa participante, em oposição à pesquisa tradicional geralmente qualificada de "independente" e "objetiva". Como sugere o nome, a pesquisa-ação visa a reunir a pesquisa e a ação, desenvolvendo o conhecimento a partir da prática. (ENGEL, 2000)

Benbasat *et al.* (1987) completaram esta definição explicando que o pesquisador em um pesquisa-ação é um participante na implementação de um sistema e ao mesmo tempo quer avaliar uma certa técnica de intervenção. Ele não é um observador independente, mas torna-se um participante, e o processo de mudança torna-se objeto de investigação.

Esta pesquisa-ação se baseará sobre um trabalho realizado durante um estágio de consultoria em um centro de distribuição de uma empresa XYZ do Rio de Janeiro entre julho e dezembro 2013.

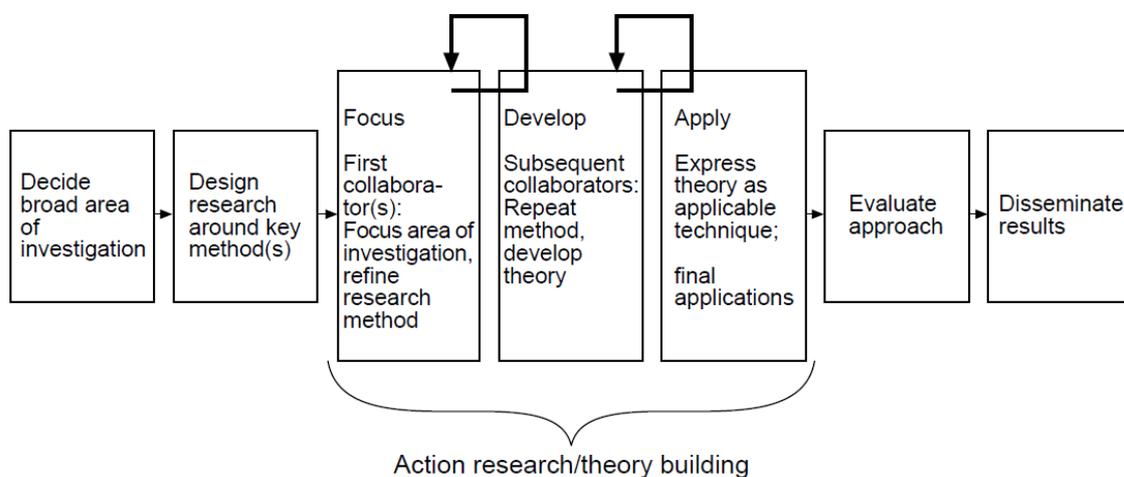


Figura 1 - Modelo de pesquisa ação em gestão das operações

Fonte: WESTBROOK, R., 1995, p. 11.

Conforme descrito na Figura 1, este estudo começa por uma revisão bibliográfica sobre o tema e apresenta depois os modelos capazes de solucionar o problema. Em seguida, um diagnóstico da situação atual no CD é efetuado. O modelo considerado mais adequado neste contexto será aplicado e, enfim, os ganhos esperados e o desempenho previsto do novo *layout* serão estimados.

Para a obtenção dos dados, diversas visitas no CD foram realizadas e funcionários de diferentes níveis hierárquicos no departamento de logística foram entrevistados. Além disso, alguns funcionários se dedicaram a fornecer levantamentos precisos sobre as características físicas dos itens e nos apoiaram na extração de informações do banco de dados (BD) da empresa.

1.4 Revisão da literatura

Gu *et al.* (2007) realizaram um levantamento das contribuições científicas relativas a cada operação interna do CD (Figura 2) e observaram que as atividades de armazenamento e *picking* tinham recebido a maior parte da atenção dos pesquisadores até 2007. Isto não é surpreendente uma vez que são as duas funções do CD que têm o maior impacto sobre seu desempenho operacional global.

Bozer (1985) foi o primeiro a introduzir o problema de separar um palete *rack* em uma parte superior de reserva e a parte inferior de FPA.

Hackman e Platzman (1990) foram os primeiros autores a desenvolver um modelo matemático discreto visando a decidir quais *Stock Keeping Units* (SKUs) devem ser alocados em uma FPA automatizada e qual espaço deve ser alocado a cada dispositivo de armazenamento para cada SKU selecionado. Eles desenvolveram um procedimento heurístico que apresenta um bom desempenho sempre que a alocação é uma pequena fração do espaço total do armazenamento.

Frazelle *et al.* (1994), estenderam este modelo adicionando o volume da FPA como variável de decisão.

Van den Berg *et al.* (1998), apresentaram um modelo visando a minimizar o trabalho agregado durante a atividade de *picking* em um período de "pico", determinando o número de ressuprimentos ótimo a efetuar durante os períodos ociosos (fora do período de *picking*).

Bartholdi e Hackman (2008) analisaram duas estratégias de armazenamento prevalentes na indústria, a estratégia do espaço igual (*Equal Space Strategy*) e a estratégia do tempo igual (*Equal Time Strategy*), e compará-las à solução ótima.

Gu *et al.* (2010) forneceram um algoritmo "*branch-and-bound*" para resolver de maneira ótima o problema de alocação dos SKUs na FPA antigamente resolvido pela heurística de Hackman e Platzman. Eles compararam os dois métodos e concluíram que a solução do procedimento heurístico era muito próxima da solução ótima.

A maior parte destes estudos pressupõe um modelo fluido no qual a FPA pode ser continuamente dividida entre os SKUs. Walter *et al.* (2013) consideram o problema da FPA de maneira discreta. Mais especificamente, eles apresentaram um modelo discreto para selecionar os SKUs, alocá-los um espaço na FPA e determinar o volume da FPA.

Bartholdi e Hackman (2011) constataram que a maioria dos livros no tema se limitavam a apresentar listas de equipamentos ou modelos de *picking* como obras de taxomania e que faltava uma metodologia para otimizar as operações do CD.

Gu, Goetschalckx e Mc Ginnis (2007 e 2009) deploraram a falta de comunicação existente entre a indústria e os pesquisadores. Poucos resultados de pesquisa são amplamente comunicados e, em consequência, poucos têm um real impacto sobre as operações dos CDs. Da mesma forma, poucas informações sobre os problemas dos CDs são divulgados, então é difícil para os pesquisadores perceber quais são os desafios reais a enfrentar.

Existe então um espaço importante para descrever e apresentar modelos aplicados e estudos de caso que comprovam os benefícios que pode proporcionar a pesquisa acadêmica aplicada. Este estudo se posiciona justamente como exemplo de aplicação e de reflexão relativo à implementação e organização de uma FPA em um CD de da empresa XYZ. Ele visa então a preencher a lacuna existente entre a realidade prática e os modelos teóricos.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho é estruturado em seis capítulos, sendo este o introdutório. No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica dividida em duas partes, a primeira relativa aos CDs e a segunda relativa ao problema *forward-reserve*. No capítulo 3 é

realizado um diagnóstico do CD estudado e uma proposta de melhoria das operações. No capítulo 4 é aplicado o modelo de implementação de FPA. Finalmente, no capítulo 5 são apresentados os resultados e conclusões deste trabalho. As referências bibliográficas são listadas no capítulo 6.

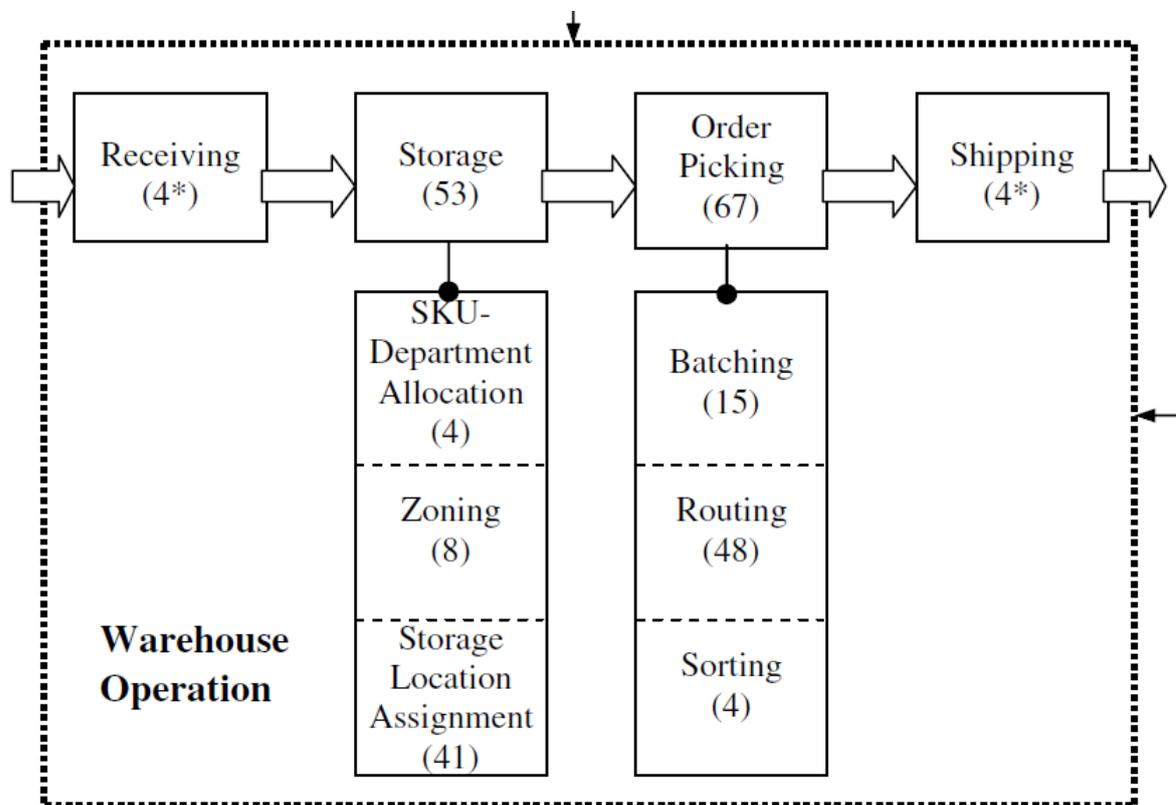


Figura 2 - Número de artigos relativos às operações dos CDs

Fonte: Gu *et al.*, 2007, p. 2.

2 Fundamentação teórica

Nesta seção é apresentado um resumo da teoria atual sobre o conceito de *warehousing*, o papel desempenhado pelo CD na cadeia de suprimento e o funcionamento interno dele.

2.1 Contexto atual na cadeia de suprimento

Nas cadeias de suprimento modernas, os *lead times* tendem a ser encurtados no objetivo de proporcionar um serviço cada vez mais rápido para os clientes e de reduzir os estoques em processos e seus custos decorrentes. Ballou (1992) estimou que os custos de inventários representavam entre 20% e 40% da sua valor. Uma redução significativa dos estoques na cadeia de suprimento pode então proporcionar ganhos notáveis.

O ciclo de vida cada vez menor dos bens de consumo pode criar riscos financeiros consideráveis quando os níveis de inventários são elevados, o que incentiva também os gerentes de produção e de logística a reduzir os níveis dos estoques parados e em trânsito, ou estoque no *pipeline*. (VAN DER BERG, ZIJM, 1999)

Esta filosofia que visa a eliminar os estoques, reduzir os tempos ociosos e, de maneira geral, todos os desperdícios durante a produção e ao longo da cadeia de suprimento é chamada filosofia *Lean* ou produção enxuta. Ela foi desenvolvida e popularizada pela empresa japonesa Toyota com seu Sistema Toyota de Produção. Uma de suas aplicações mais radical, o *Just In Time* (JIT), define um sistema de produção no qual o produtor não produz nem compra a matéria-prima antes de receber um pedido do cliente. O JIT visa então a zerar os estoques, a superprodução e seus custos decorrentes.

Na prática, o modelo JIT é raramente atingido. Como nos lembra Ganesham (1999), existem algumas boas razões de guardar um nível de inventário mínimo para se proteger da incerteza sobre a demanda, dos riscos ligados aos níveis de produção ou das flutuações relativas ao transporte.

Em algumas situações especiais as funções do CD na cadeia de suprimentos podem ser reduzidas como na prática de produção enxuta, mas, de modo geral, matérias-primas, produtos semiacabados e produtos acabados precisam ser armazenados

ou passar em uma zona tampão (*buffer area*). Os CDs são então indispensáveis e desempenham um papel fundamental no sucesso da logística das empresas. (DE KOSTER, LE-DUC, ROODBERGEN, 2007)

2.2 Funções do CD

No contexto acima descrito, se precisa de um lugar, o CD, para armazenar os itens entre os diferentes passos da cadeia de suprimento. Um CD pode ser definido como um espaço físico no qual são armazenados matérias-primas, produtos semiacabados ou produtos acabados esperando ser transferidos ao próximo elo da cadeia de suprimento. Os CD diminuem os tempos de resposta atuando como zona tampão e provisionando o mercado com seus estoques em períodos de aceleração da demanda e absorvendo a produção em períodos de desaceleração das compras.

Bartholdi e Hackman (2011) e de Koster, Le-Duc e Roodbergen (2007) apresentam um conjunto de funções que o CD desempenha. Eles afirmam que ele:

- Proporciona uma forma segura de controlar o tempo de resposta em ambientes onde o sistema de transporte é incerto. Isso representa um ponto crucial em um contexto onde a maior parte da produção de produtos manufaturados é localizada em países com infraestruturas subdesenvolvidas ou congestionadas.
- Pode ser muito útil contra bruscas mudanças na cadeia de suprimento. Por exemplo, a um dado momento, os custos de armazenagem podem ser menores que os ganhos proporcionados por uma encomenda em grande quantidade e então, pode ser vantajoso comprar mais do que necessário e armazenar no CD. Da mesma forma, custos elevados de preparação de máquinas podem impor uma estratégia de produção em lote e uma armazenagem dos produtos acabados.
- Permite consolidar os produtos. A consolidação é uma atividade que visa a condicionar itens de diferentes fornecedores em um container de modo a otimizar o espaço usado e então reduzir os custos de transporte.
- Serve para adiar a personalização de produtos. Por exemplo, pode ser adicionado no CD elementos de um produto que são diferentes entre um país e outro como o teclado, a documentação ou a tomada. O fabricante pode assim satisfazer um faixa de clientes maior a partir de um inventário menor. Ele alcança, portanto uma demanda agregada maior e então mais fácil a prever.

- Pode cumprir atividades de etiquetagem ou de personalização da embalagem.
- Desempenha um papel importante na logística reversa. A logística reversa é a área da logística que trata dos fluxos físicos de produtos, embalagens ou outros materiais, desde o ponto de consumo até o local de origem. Os CDs são responsáveis pela recuperação dos produtos, embalagens e outros materiais do local de consumo de modo a redistribuí-los para outros clientes, empresas de reciclagem ou os fabricantes originais. Van der Berg e W.H.M. Zijm (1999) distinguem três tipos de CDs:
 - As *distribution warehouses*, são CDs nos quais os produtos são recolhidos a partir de diferentes fornecedores e são entregados para vários clientes.
 - As *production warehouses*, ou CDs de produção, são usados para armazenar a matéria-prima, os produtos semiacabados e os produtos acabados em um ambiente produtivo.
 - As *contract warehouses*, ou CDs terceirizados, são organismos que executam operações de armazenagem em nome de um ou vários clientes.

Nesta primeira parte, o papel estratégico que desempenha um CD na cadeia de suprimento foi explicado e as funções dele foram apresentadas de maneira macroscópica. No próximo parágrafo, os processos internos do CD serão identificados de forma microscópica.

2.3 Os processos internos do CD

Rouwenhorst *et al.* (2000) observaram que os custos das operações de logística representavam uma parte importante dos custos de produção e, Bartoldi e Hackman (2011) completaram que tais custos ocorrem principalmente por causa da intensidade de trabalho da mão de obra.

O trabalho da mão de obra é ainda mais intenso quando os SKUs manipulados são pequenos. Geralmente, os SKUs chegam da etapa *upstream* da cadeia embalados em uma escala maior do que quando eles saem para a etapa *downstream*. O CD costuma reorganizar e reembalar os SKUs, quebrando os lotes dos fornecedores para abastecer os clientes com quantidades menores. As etapas *downstream* da cadeia tendem então a manipular itens menores o que resulta de um trabalho de mão de obra mais intensivo.

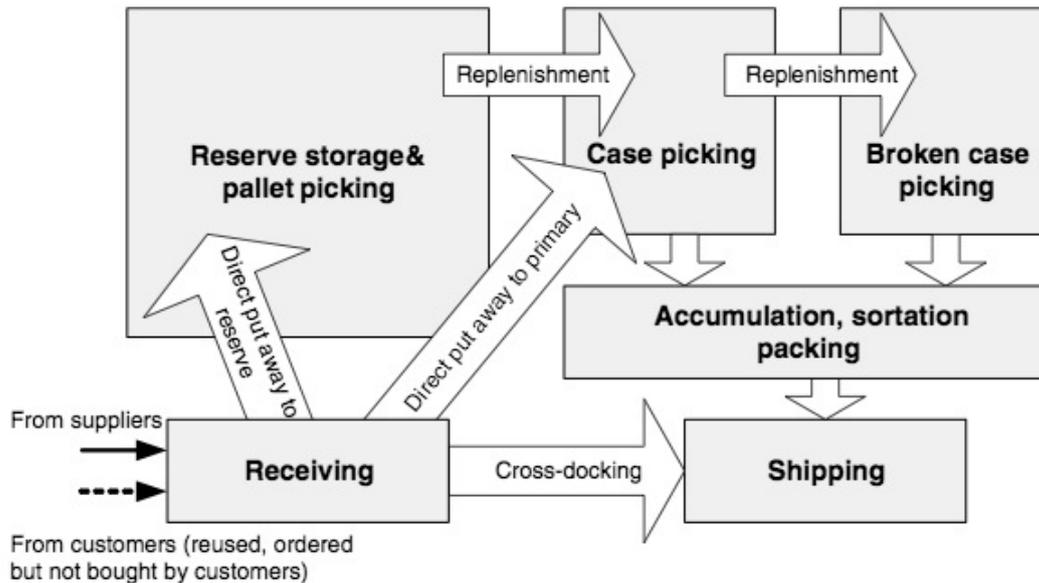


Figura 3 - Funções típicas do CD e fluxos de materiais

Fonte: Tompkins et al., 2010, p. 389.

Apesar das diferenças entre os CDs que foram apresentadas no parágrafo anterior, eles têm de modo geral suas atividades organizadas de maneira similar. Os SKUs passam primeiro pelos processos de entrada, recebimento, *put away* e armazenamento e depois pelos processos de saída, *picking*, controle, empacotamento e expedição (Figura 3). (BARTOLDI e HACKMAN, 2011)

2.3.1 Recebimento e Put Away

A etapa de recebimento pode começar antes da entrega física dos SKUs com o agendamento da chegada do veículo. Isto permite organizar a recepção e o descarregamento para coordenar eficientemente essas atividades com outras atividades internas do CD. (BARTOLDI e HACKMAN, 2011)

Geralmente as mercadorias são entregues por caminhões e são descarregadas nas docas de recebimento. Os produtos são inspecionados e qualquer problema, tal como danos, quantidade incorreta, descrições erradas, e assim por diante será registrado.

Se os produtos estivessem conformes, um código de barras ou uma etiqueta magnética é colado. A partir desta etapa, e em cada outra etapa do processo, o SKU deverá ser escaneado a fim de garantir sua rastreabilidade. Este escaneamento permite

também atualizar o sistema de inventário, informando que este dado item entrou no CD e em uma dada quantidade.

Se as unidades de armazenamento internas do CD (por exemplo, paletes, caixas ou itens) são diferentes das unidades de armazenamento no transporte, em seguida, os produtos devem ser desagrupados e reagrupados. Enfim, durante a etapa de *put away*, as zonas de armazenamentos são identificadas e os SKUs são transferidos. (VAN DEN BERG, ZIJM, 1999)

2.3.2 Armazenamento

Os produtos precisam ser armazenados antes de ser separados e enviados para os clientes. Uma política de armazenamento ou, *storage assignment method*, é um conjunto de regras que define onde os SKUs têm que ser alocados no CD. Entretanto, antes de escolher o método de armazenamento, o modelo de *picking* e a política de roteamento devem ser escolhidos para cada área do CD.

Uma forma popular de organizar o armazenamento para acelerar a atividade de *picking* é de dividir o espaço entre uma zona de *picking*, chamada área *forward* ou *fast picking area* (FPA) e uma zona de ressuprimento ou reserva. A FPA proporciona mais ganhos quando ela é pequena uma vez que os caminhos percorridos pelos operadores durante a atividade de *pickings* são menores e, portanto, o tempo de trabalho agregado é também menor. A FPA e a reserva podem estar separadas ou ainda dividir o espaço de um rack (figura 4) com os paletes da reserva nas posições superiores e na posição inferior o palet da área *forward*. O problema *forward-reserve* corresponde a determinação de quais SKUs devem ser alocados na FPA e em quais quantidades. Um método desenvolvido por Bartholdi e Hackman (2011) e permitindo solucionar o problema será apresentado na segunda parte desta revisão bibliográfica. Existem vários modelos para alocar os SKUs dentro da FPA e da reserva. De Koster *et al.* (2007) apresentam os quatro sistemas de armazenamento mais usados na indústria: o armazenamento aleatório (*random storage*), a "posição disponível mais próxima" (*closest open location storage*), o armazenamento dedicado (*dedicated storage*) e o armazenamento ABC (*class-based storage*).

O modelo de armazenamento aleatório aloca a cada SKU entrando no CD, uma posição livre no CD de maneira de aleatória. Este sistema proporciona uma boa eficiência de armazenamento (poucos espaços vazios), mas em contrapartida tende a

alongar as distâncias percorridas pelos operadores. Ademais, este modelo precisa de um sistema informático de apoio, tarefa cumprida pelo sistema de gestão do CD, ou *Warehouse Management System (WMS)*.

No modelo *closest open location storage* o operador escolhe a primeira localização livre no CD para armazenar o SKU. Geralmente, nesta configuração, o espaço perto das zonas de recebimento/expedição fica gradualmente mais ocupado do que a zonas afastadas. Este modelo é popular porque não precisa de sistema de gestão informático do CD, pois é muito barato e fácil de implementar.

Quando as localizações dos SKUs são fixas a política de armazenamento é chamada política de armazenamento dedicada. A desvantagem principal deste modelo é que as localizações são reservadas, mesmo para os itens com estoque zerados o que gera espaços ociosos no CD. Ademais, cada SKU deve ter um espaço dedicado suficiente para armazenar o seu nível máximo de estoque, e portanto a ocupação do espaço é relativamente baixa. Nesta política de armazenamento, os operadores podem se familiarizar com as localizações, o que pode levar a um aumento significativo da produtividade da mão de obra. Esta técnica é particularmente adequada às FPAs.



Figura 4 - *Palet rack*

A política de armazenamento ABC propõe categorizar os SKUs de acordo com o método de classificação por popularidade de Pareto. A ideia é agrupar os SKUs em classes, de tal maneira que a categoria que movimenta mais seja composta de 15% dos itens, mas responsável por 85% das movimentações. Em seguida, cada classe é alocada a uma área do CD, a categoria A no lugar mais estratégico, a B em um lugar menos estratégico e assim por diante. Geralmente, uma política de armazenamento aleatória é implementada dentro de cada zona. As classes são determinadas por medidas de frequência da demanda dos itens no período estudado. De modo geral, três categorias, A, B e C, são usadas chamando de categoria A aquela que movimenta mais e C aquela que movimenta menos. No objetivo de minimizar os deslocamentos, a categoria A é localizada perto da zona de recebimento/expedição e as categorias B e C são gradualmente afastadas. Existem várias maneiras de dividir o espaço entre as categorias ABC, a figura 5 mostra dois exemplos de organização típicos.

As estratégias de armazenamento descritas acima não levam em conta potenciais relações entre os itens. Estatisticamente, alguns itens podem ter uma tendência maior a ser encomendados juntamente e então pode ser vantajoso armazená-los em localizações próximas. O agrupamento em famílias, ou *family grouping*, descreve o fato de agrupar em uma zona próxima itens similares ou que tendem a ser pedidos juntamente. Esta estratégia de armazenamento pode ser combinada com uma das outras políticas supracitadas (DE KOSTER *et al.*, 2007)

As políticas de armazenamento dependem de vários fatores de escala das operações como o tamanho do CD ou a frequência dos *pickings* por unidade de

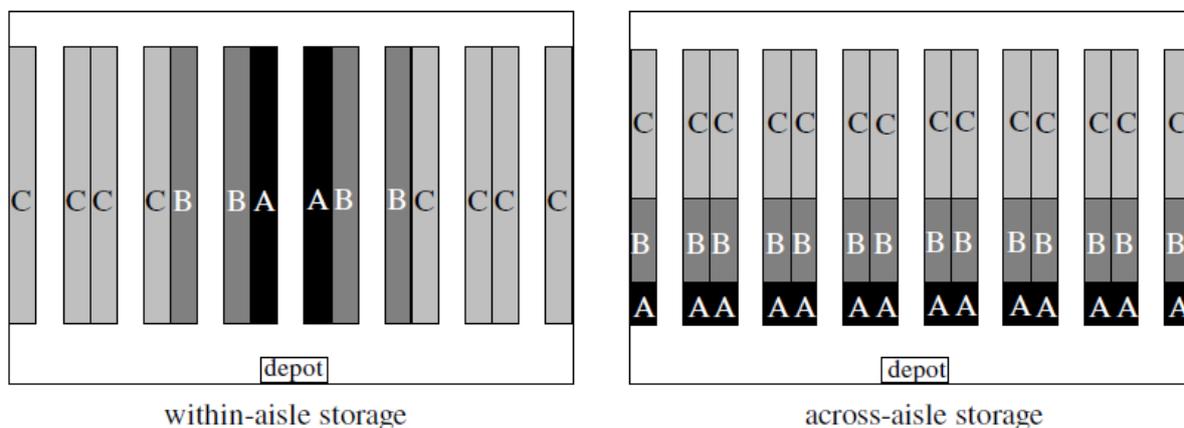


Figura 5 - Políticas típicas de organização do espaço por classes ABC

armazenamento, mas dependem também de estratégias estruturais como as políticas de *picking* ou de roteamento. Tais políticas são apresentadas no parágrafo seguinte.

2.3.3 *Order-picking*

Sempre que uma empresa procura reduzir seus custos de operações e melhorar a produtividade do seu CD ela reconsidera meticulosamente a sua atividade de *picking*. A atividade de separação, ou *order-picking*, corresponde à recuperação dos produtos da área de armazenamento, na quantidade certa, em resposta a um pedido específico de um cliente. Um pedido é uma lista de itens, com suas quantidades, solicitados por um cliente no caso de um centro de distribuição, ou por uma linha de produção no caso de um centro de distribuição de produção. (VAN DER BERG e ZIJM, 1999)

Esta operação é a mais intensa em trabalho de mão de obra nos CDs com sistemas manuais e a mais cara considerando o capital usado nos CDs com sistemas automatizados. (DE KOSTER, LE-DUC, ROODBERGEN, 2007)

De acordo com Frazelle (1996), a atividade de *picking* é responsável por mais de 55% dos custos de um CD típico. Por estas razões, esta operação é considerada a mais crítica e então de maior prioridade no processo de melhoria da produtividade de um CD.

2.3.3.1 *As políticas de picking*

Ackerman (1990) identificou três políticas básicas de *picking*: o *picking* discreto (*strict order picking*), o *picking* por lote (*batch picking*) e o *picking* por zona (*zone picking*).

No caso do *picking* discreto, cada operador é responsável por um pedido. Ele caminha até a localização do primeiro item, efetua a separação, carrega o item no carrinho e caminha até a localização do item seguinte até completar o pedido. Uma vez os itens do pedido carregados, o operador volta para o ponto de descarregamento, descarrega o carrinho e pega a lista de um outro pedido.

O *picking* discreto tem como vantagens de manter a integridade dos pedidos e então de evitar os erros e os remanejamentos devido à triagem. Além disso, como um operador é responsável por um pedido, este sistema proporciona um controle dos erros direto e estabelece uma responsabilidade direta para um único trabalhador. Este modelo

fornece um serviço rápido quando, por exemplo, os clientes estão esperando seus pedidos, mas obriga os operadores a caminhar distancias importantes no CD para completar as listas. (PETERSEN, 2000)

No *picking* por lote, cada operador vai recuperar durante sua rodada itens de mais que um pedido então, cada operador é responsável por alguns pedidos. Os pedidos não podem ser compartilhados entre os operadores. A triagem entre os diferentes pedidos pode ser realizada durante a separação ou em uma etapa posterior, depois de ter descarregado o carrinho. O funcionamento do processo é similar ao do *picking* estrito, o operador separa e carrega os itens dos diferentes pedidos e descarrega o carrinho no ponto de descarregamento antes de pegar outra lista de pedidos.

O *picking* por lote proporciona geralmente um tempo de caminho por item menor. No entanto, a integridade dos pedidos não é respeitada o que resulta de um aumento do risco de erros. Além disso, um sistema de *picking* por lote requer uma etapa de triagem para a qual mais espaço é necessário. (PETERSEN, 2000)

Uma variante do *picking* por lote é o *picking* por onda (*wave picking*) no qual os operadores realizam de maneira contínua os *pickings*. O tamanho do lote é determinado pelo tempo de *picking* (entre 30 minutos e 2 horas). Este processo visa a separar uma grande quantidade de SKUs em um tempo limitado e é geralmente mais adequado quando os itens têm a mesma destinação. (DE KOSTER *et al.*, 2007)

No modelo de *picking* por zona, também chamado *picking* progressivo, um carrinho com a lista dos itens de um pedido se movimenta entre as diferentes zonas do CD. Primeiramente, um operador responsável pela primeira zona realiza os *pickings* relativos a sua zona antes de passar o carrinho e a lista na zona seguinte. O processo é repetido, o operador responsável por esta outra zona recupera os itens, os carrega no carrinho e os passa com a lista a outra zona até realização de todos os *picking* da lista.

As vantagens deste sistema e que a integridade dos pedidos é mantida e então a etapa de triagem é desnecessária. Além disso, o caminho total percorrido por um operador é geralmente menor, pois ele só anda em uma zona. O operador é também mais produtivo porque ele se familiariza rapidamente com as localizações dos itens na zona dele. Este modelo reduz os congestionamentos pois poucos trabalhadores operam na mesma zona. Enfim, estudos de desempenho, como produtividade por zona, se tornam possíveis com este sistema de *picking*. (PETERSEN, 2000)

De Koster (2007) chama a política de *picking* descrita acima: *picking* por zona progressiva (*pick-and-pass*). Ele distingue esta política do *picking* por zona

sincronizado onde os operadores atuam simultaneamente no objetivo de completar rapidamente um pedido.

Muitas vezes, várias políticas de *picking* são utilizadas em um mesmo CD dependendo das zonas, do tipo e da popularidade dos itens. A maior parte dos CDs usa a mão de obra para realizar a atividade de *picking*, mas existem também sistemas de separação automatizados ou robotizados particularmente usados no caso de itens valiosos ou delicados (DE KOSTER, 2007).

De Koster (2007) diferencia as atividades de *picking* manuais (envolvendo operadores) em duas categorias, os sistemas de baixo nível e de alto nível. Em uma atividade de baixo nível, o operador realiza a separação dos itens enquanto anda ao longo dos corredores da armazenagem, sem usar equipamento de elevação. Outros sistemas de *picking* usam rack de alta capacidade e o operador viaja na armazenagem a bordo de uma empilhadeira, um caminhão ou uma grua. Este equipamento de elevação pode parar automaticamente na frente da localização do SKU esperando a separação do operador. Este sistema se chama atividade de *picking* de alto nível.

2.3.3.2 As políticas de roteamento

Uma política de roteamento determina o caminho do operador durante a atividade de *picking* ou mais especificamente a sequência na qual os itens são separados (PETERSON, 1997). De acordo com Bartholdi e Hackman (2011), o tempo de viagem durante a atividade de *picking* é um desperdício. Ele custa em termos de mão de obra e não agrega valor. Além disso, Tompkins (2010) observou (Figura 6) que as viagens representavam 50% do tempo da atividade de *picking*. O tempo de viagem é uma função linear da distância percorrida em um sistema *pick-to-part*, onde o operador se desloca até as localizações dos SKUs. (ROODBERGEN e DE KOSTER, 2001) Conseqüentemente, a distância de viagem é muitas vezes considerada como o objetivo principal dos estudos de otimização dos CDs. As políticas de roteamento visam a minimizar esta distância em diferentes contextos.

Na prática, o problema de roteamento nos CDs é resolvido por métodos heurísticos porque os métodos ótimos apresentam algumas desvantagens:

- dependendo do *layout* do CD pode não existir solução ótima ao problema de roteamento,

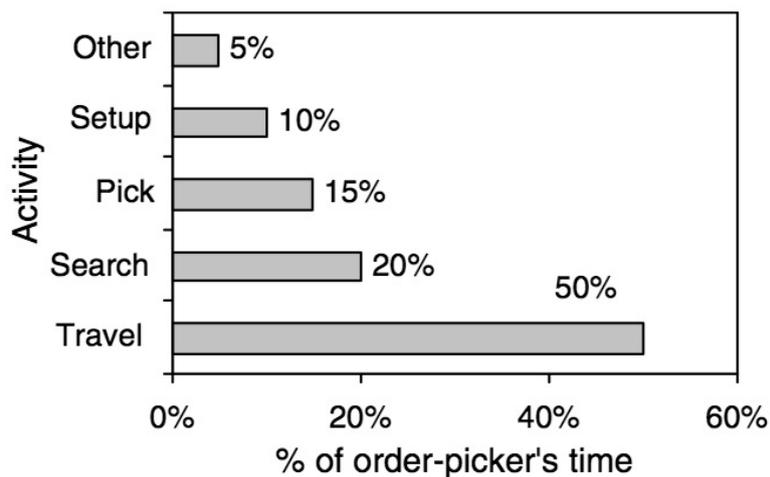


Figura 6 - Distribuição típica de tempo de *picking*

Fonte: Tompkins et al., 2010, p. 434.

- os caminhos ótimos podem parecer ilógicos para os operadores que preferirem mudar de itinerário,
- um método ótimo não pode levar em conta o congestionamento nos corredores, o que pode ser feito com um modelo heurístico. (DE KOSTER, 2007)

Petersen (1997) apresenta cinco políticas heurísticas de roteamento muito usadas, da mais simples a mais complexa. Ele considera um ponto de recebimento/expedição (ponto R/E) localizado no canto inferior esquerdo do CD (figura 7). O autor considera também uma política de *picking* manual discreta ou por lote na qual, um operador com uma lista de itens começa sua atividade no ponto R/E, efetua a separação e volta descarregar seu carrinho neste ponto.

Na estratégia transversal (*transversal strategy*), ou *S-shape*, mostrada na figura 7, o operador entra em nos corredores onde nos quais existem SKUs a separar e sai necessariamente pelo lado oposto. Ele continua assim por diante antes de voltar no ponto R/E. Esta estratégia é a mais simples.

Na estratégia de retorno (*return strategy*) o operador entra nos corredores onde tem SKUs a separar e sai necessariamente pelo mesmo lado.

O modelo do ponto médio (*midpoint strategy*) divide o CD em dois (figura 7) e implementa uma estratégia de retorno em cada uma das duas partes. O operador acessa a parte inferior pelo corredor transversal abaixo e a parte superior pelo corredor transversal acima.

A estratégia do maior espaço (*largest gap strategy*) é parecida a estratégia do ponto médio. O operador entra em um corredor até chegar ao maior espaço entre duas

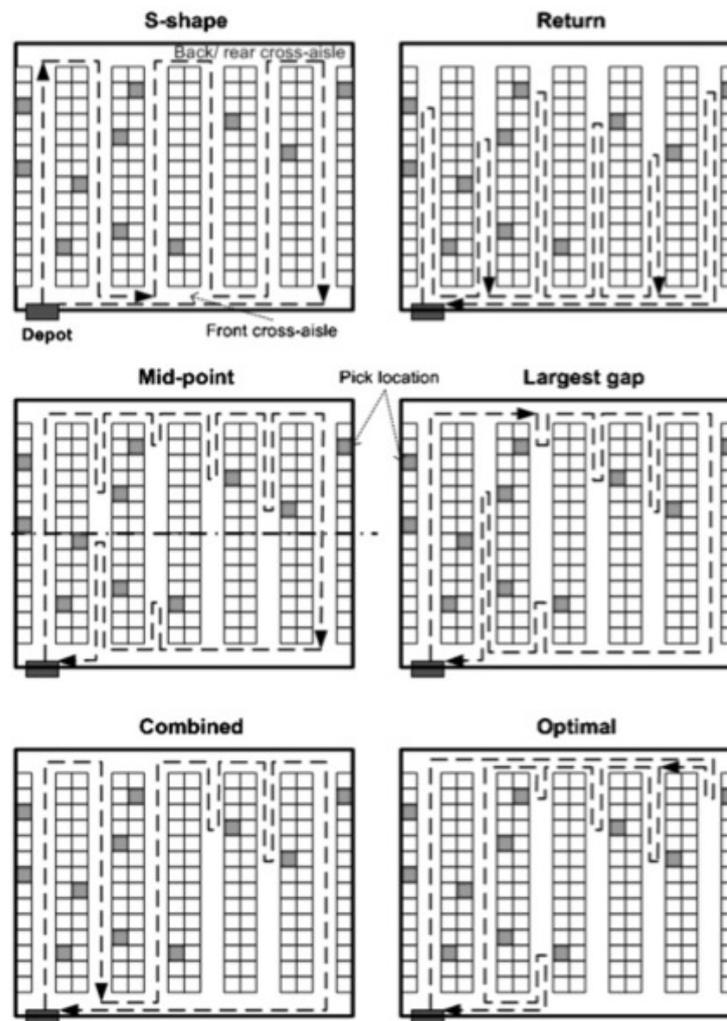


Figura 7 - Políticas de roteamento

Fonte: Roodbergen, 2001, p. 36.

localizações sucessivas e então sai dando uma volta. O espaço representa a separação entre dois SKUs sucessivos ou entre a entrada e o primeiro SKU ou entre o último SKU e a saída. Se o maior espaço for entre dois SKUs, o operador volta e sai do corredor pelo lado onde ele entrou. Se o espaço entre a entrada do corredor e o primeiro SKU for o maior espaço do corredor, o operador não entra e efetuará o *picking* entrando pelo outro corredor transversal. Esta estratégia é sempre melhor que a estratégia do ponto médio porém mais difícil a implementar. (HALL, 1993)

A estratégia combinada, *composite strategy* ou *combined strategy*, usa as melhores características das estratégias transversal e de retorno em uma programação dinâmica.

Petersen (1997) comparou estas cinco heurísticas com a solução ótima e concluiu que o melhor método heurístico dá em média soluções próximas a 5% da solução ótima, o que pode confirmar seus usos na prática.

2.3.4 *Divisão, agrupamento, controle e embalagem*

A divisão e agrupamento dos pedidos é uma atividade necessária se os itens forem separados em lotes durante a atividade de *picking*. Neste caso, os produtos devem ser reagrupados por pedido.

Os SKUs podem ser embalados neste momento dependendo da suas características e da sua destinação. Esta atividade é muito trabalhosa pois cada SKU deve ser manipulado individualmente. Este momento, no qual os SKU param, deve ser aproveitado para efetuar o controle dos pedidos. A acurácia dos pedidos é uma medida chave do nível de serviço ao cliente, que é, por sua vez, uma posição estratégica na qual a maioria das empresas compete. Pedidos errados não só incomodam os clientes, mas causam retornos que podem custar dez vezes o custo de expedição, de acordo com Bartholdi e Hackman (2011).

2.3.5 *Expedição*

O trabalho nesta etapa é normalmente menos intensivo, pois os SKUs são agrupados em caixas ou em paletes. No caso das curtas distâncias, o caminhão é preenchido na ordem inversa das entregas para minimizar as manipulações durante os descarregamentos. Se o caminhão efetuar longas distâncias, uma atenção particular deve ser dada à eficiência de preenchimento para minimizar os custos de transporte.

Finalmente, o caminhão é escanado para registrar sua partida e atualizar o inventário do CD. (BARTHOLDI e HACKMAN, 2011)

2.4 *Fast Picking Area – O método do Georgia Institute of Technology*

Este parágrafo apresentará o método de dimensionamento de uma FPA desenvolvido por Bartholdi e Hackman (2011). Esta FPA permite reduzir os caminhos percorridos pelos operadores durante a atividade de *picking* no caso em que o SKU é uma peça, ou seja, a menor unidade movimentável.

Foi explicado no capítulo introdutório existem pressões sobre os responsáveis de logística para reduzir os inventários e então seus riscos e custos decorrentes. Ademais, a tendência atual tende a um modelo de entregas com quantidades menores, porém mais frequentes, o que torna o *picking* de peças uma atividade chave no CD.

Esta atividade é sem dúvida a mais trabalhosa e então a mais cara porque cada item é movimentado na menor unidade possível. Melhoras de produtividade neste setor podem então proporcionar ganhos importantes de custos e aprimorar o serviço ao cliente.

2.4.1 *Fast Picking Area*

Uma FPA é um espaço onde são armazenados os itens mais populares do CD, em pequena quantidade, para que, a maior parte dos *pickings* possa ser realizada em uma área relativamente pequena. Em consequência, os caminhos percorridos pelos operadores são menores o que resulta no aumento da produtividade. Esta área exige uma zona de ressuprimento ou reserva. A reserva armazena a maior parte dos estoques de cada item e ocupa então uma área maior.

As principais interrogações relativas à FPA são quais SKUs devem ser escolhidos e em quais quantidades armazená-los?

Obviamente, se os SKUs fossem alocados na FPA em quantidades pequenas demais, os tempos de ressuprimento prevaleceriam sobre os ganhos incorridos pela redução do tempo de *picking*.

Este problema será tratado considerando um modelo fluido, que considera cada SKU como um fluido incompressível e continuamente divisível. O fato dos SKUs ser, na realidade, objetos discretos em três dimensões é então ignorado.

2.4.2 *Estimação dos ressuprimentos*

A FPA pode proporcionar ganhos reduzindo o tempo de *picking*, mas o funcionamento dela tem um custo, os ressuprimentos. No começo, o número de ressuprimentos que cada SKU precisa será avaliado. É suposto que o custo de ressuprimento depende unicamente do número de ressuprimentos, ignorando, por exemplo, o volume do ressuprimento ou quando o ressuprimento acontece.

Considerando um SKU i com um volume v_i armazenado na FPA e com uma vazão volumétrica anual f_i , o número de ressuprimentos R_i anual necessários ao funcionamento da FPA pode ser definido:

$$R_i = \frac{f_i}{v_i}$$

Estes ressuprimentos são internos ao CD e são determinados pela vazão volumétrica de cada SKU e pelo espaço que eles ocupam na FPA, e não pelo departamento de compras da empresa.

Existem algumas suposições implícitas neste modelo. É suposto que os *pickings* realizados têm volumes menores ou iguais ao volume armazenado na FPA para cada SKU. Na realidade, se um pedido ultrapassar o volume armazenado na FPA, o *picking* seria diretamente realizado na área de ressuprimento. E, caso não tenha o volume suficiente do item na FPA, um ressuprimento é efetuado. Enfim, é considerado também que para cada SKU o ressuprimento pode ser feito em uma viagem só. Consequentemente, o trabalho necessário para ressupir a FPA depende:

- do caminho entre a FPA e a área de ressuprimento. Este caminho depende unicamente do *layout* do CD e não da localização que ocupa cada SKU na área de armazenamento.
- do caminho até a localização do SKU na área de ressuprimento. Considerando que os SKUs são armazenados de maneira aleatória nesta área, esta variável é imprevisível. Um valor constante será assumido aqui.
- do caminho dentro da FPA, parte relativamente pequena do custo total devido ao pequeno tamanho da FPA.

O custo de ressuprimento é então considerado constante.

2.4.3 Qual será a quantidade alocada de cada SKU?

Nesta parte é suposto que os itens a alocar na FPA já foram escolhidos. V é definido como o volume da FPA e suposto igual a 1. O volume v_i do item i alocado na FPA representará então uma porcentagem do espaço alocado total. f_i representa ainda a vazão volumétrica anual do item i .

O problema de alocação dos n SKUs minimizando os ressuprimentos anuais pode ser escrito assim:

$$\min \sum_{i=1}^n f_i / v_i \quad (1.1)$$

$$\sum_{i=1}^n v_i \leq 1 \quad (1.2)$$

$$v_i > 0, \quad i = 1, \dots, n \quad (1.3)$$

A primeira equação (1.1) descreve a minimização do número total de ressuprimentos sujeito à restrição da soma dos volumes alocados ser inferior ou igual ao volume total V da FPA (1.2) e à restrição de todos os SKUs serem alocados na FPA (1.3). Este problema tem como solução o volume alocado ótimo seguinte:

$$v_i^* = \frac{\sqrt{f_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{f_j}} \quad (1.4)$$

Este volume representa uma situação ótima raramente atingida na realidade devido às ineficiências de armazenamento geradas pelo descasamento da geometria dos SKUs e das estruturas de armazenagem.

2.4.4 Pontos de ressuprimentos e estoque de segurança

Neste modelo, os pontos de ressuprimentos, estoque limite a partir do qual um ressuprimento deve ser lançado, assim como os estoques de segurança, nível mínimo do estoque para um dado SKUs, são levados em conta.

l_i define a demanda média durante o *lead time* do item i . O *lead time* é o tempo entre o momento no qual a encomenda é enviada e o momento no qual ela é recebida. A seguinte restrição é adicionada ao sistema 1:

$$v_i \geq l_i, \quad i = 1, \dots, n$$

O problema pode ser resolvido gradualmente, começando por alocar um espaço v_i a cada SKU de acordo com o sistema 1. Depois, todos os SKUs tendo seu volume $v_i < l_i$ são identificados e um espaço l_i é alocado a cada um. O sistema 1 é resolvido

novamente para o espaço e os SKUs restantes ou seja, considerando o volume V' , onde $V' = V - \sum_j^N l_j$ e onde N é o número de SKUs alocados no volume l_j .

Os estoques de segurança podem ser também levados em conta considerando que sobre o volume V disponível para a FPA, $S = \sum_i^n s_i$ é utilizado para os estoques de segurança dos SKUs (s_i é o volume do estoque de segurança do item i na FPA). O modelo pode ser aplicado para os n SKUs tendo um volume real disponível $V'' = V - S$.

2.4.5 *Quais SKUs serão escolhidos para alocação?*

Em cada CD existem SKUs que se movimentam menos (*slow movers*) do que os outros (*fast movers*). Não faz muito sentido dedicar um espaço na FPA para um SKU que vai ser pedido uma ou duas vezes por ano. Geralmente, este espaço pode ser melhor aproveitado alocando um volume maior para um *fast mover*, reduzindo assim seu número de ressuprimentos, mesmo tendo que realizar o *picking* do *slow mover* mais longe na área de ressuprimento.

Considerando:

- c_1 o custo do picking na FPA,
- c_2 o custo do picking na área de ressuprimento,
- c_r o custo de ressuprimento,
- p_i o número de *pickings* previstos para o SKU i ,
- x_i a nossa variável de decisão definidas assim:

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{se o SKU } i \text{ é armazenado na FPA} \\ 0 & \text{senão} \end{cases}$$

O custo total de gestão dos n SKUs pode ser escrito como segue:

$$\sum_i^n (c_1 p_i + c_r f_i / v_i) x_i + c_2 p_i (1 - x_i)$$

A primeira parte corresponde ao custo de *picking* mais o custo de ressuprimento para os SKUs armazenados na FPA e a segunda parte representa o custo de *picking* dos SKUs armazenados na reserva.

O problema de minimização do trabalho agregado selecionando os SKUs a alocar na FPA pode ser formalizado da seguinte maneira:

$$\min \sum_i^n (c_1 p_i + c_r f_i/v_i) x_i + c_2 p_i (1 - x_i) \quad (2.1)$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_i \leq 1 \quad (2.2)$$

$$v_i > 0, \quad (2.3)$$

$$x_i \in \{0,1\}$$

Este problema pode ser reescrito em termo de maximização do ganho proporcionado pela FPA.

Definindo $s = c_2 - c_1$ o ganho proporcionado por um *picking* realizado na FPA em comparação a um *picking* na reserva o problema se torna:

$$\max \sum_i^n (s p_i - c_r f_i/v_i) x_i \quad (3.1)$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_i \leq 1 \quad (3.2)$$

$$v_i > 0, \quad (3.3)$$

$$x_i \in \{0,1\}$$

A função de ganho proporcionado pelo armazenamento do item i na FPA, $G_i = s p_i - c_r f_i/v_i$, é de retornos decrescentes em relação ao volume v_i alocado, ou seja, as primeiras unidades alocadas de cada item trazem ganhos maiores que as unidades seguintes.

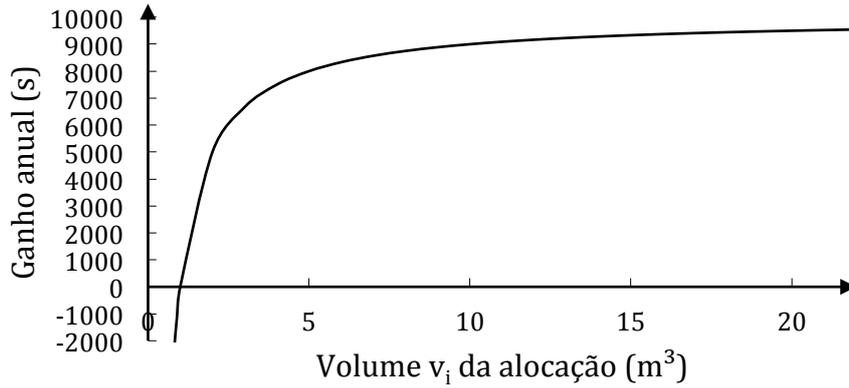


Figura 8 - Ganho decrescente em função do volume alocado na FPA

Pode ser observado também que $G_i(v_i)$ cruza o eixo horizontal em um valor $v_i > 0$. A forma analítica do volume mínimo a alocar, $v_{i,min}$, pode ser determinada escrevendo a restrição sobre os ganhos positivos:

$$\begin{aligned} G_i &> 0 \\ sp_i - c_r f_i / v_i &> 0 \\ v_i &> \frac{c_r f_i}{sp_i} \end{aligned}$$

E então:

$$v_{i,min} = \frac{c_r f_i}{sp_i}$$

Para minimizar o trabalho agregado, a alocação dos SKUs na FPA deve respeitar as proporções determinadas pela solução (1.4). Portanto, v_i pode ser substituído no sistema 3 por expressão (1.4), o que leva a :

$$\max \sum_i^n \left[sp_i - c_r \sqrt{f_i} \left(\sum_{j \in S} \sqrt{f_j} \right) \right] x_i \quad (4.1)$$

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{\sqrt{f_i}}{\sum_{j \in S} \sqrt{f_j}} \right) x_i \leq 1 \quad (4.2)$$

Onde S é o grupo dos SKUs escolhidos para alocação.

Este problema é uma versão de um problema de programação linear famoso chamado problema da mochila, ou *knapsack problem*. Imagine que uma mochila deve ser preenchida para uma trilha com n itens e que o volume da mochila seja limitado a $V = 1$. Para quantificar quanto o item i é valioso para a trilha, um valor a_i é atribuído a ele. a_i é considerado positivo, porque caso contrário o item i não seria levado. O volume do item i é definido por v_i . v_i é necessariamente inferior a um, senão ele não caberia na mochila. Enfim, a variável de decisão se escreve $x_i \in \{0,1\}$ e ela verifica:

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{item é levado em trilha} \\ 0 & \text{senão} \end{cases}$$

O objetivo é maximizar o valor da mochila sendo limitado pelo volume dela.

$$\max \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (5.1)$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_i < 1 \quad (5.2)$$

$$x_i \in \{0,1\}$$

Na prática, este problema é fácil a resolver aproximadamente. O rendimento do item i é definido pela expressão a_i/v_i . Primeiramente, os itens devem ser classificados por rendimentos decrescentes. A mochila é preenchida com os itens por rendimento até que um item não caiba. Uma solução aproximativa, pouco diferente da solução ótima é então atingida. A diferença não ultrapassa o ganho que proporciona o último item a não caber.

Uma analogia entre o problema da mochila e o sistema 4 pode ser feita. O rendimento é determinado:

$$\frac{a_i}{v_i} = \left(\frac{p_i}{\sqrt{f_i}} \right) \left(s \sum_{j \in S} \sqrt{f_j} \right) - c_r \left(\sum_{j \in S} \sqrt{f_j} \right)^2 \quad (6)$$

Nesta expressão, só a razão $p_i/\sqrt{f_i}$ depende do item i , então classificar os itens por rendimentos decrescentes é equivalente a classifica-los por $p_i/\sqrt{f_i}$ decrescentes.

Para selecionar quais SKUs vão ser alocados na FPA, o procedimento seguinte deve ser seguido:

- Classificar os SKUs por ordem de rendimento decrescente.
- Calcular os ganhos $\sum_i^k (sp_i - c_r f_i/v_i^*)$ onde primeiramente $k = 1$, ganho proporcionado pelo primeiro item da lista, depois para $k=2$, ganho proporcionado pelos dois primeiros itens da lista, e assim por diante.
- Selecionar os k primeiros SKUs que maximizam o ganho.

A heurística apresentada constitui uma boa aproximação da solução ótima porque elas diferem de um item no máximo. Como geralmente milhares ou dezenas de milhares de SKUs são considerados em uma FPA, o erro é desprezível. Além disso, como os SKUs são classificados por rendimentos decrescentes, o ganho que poderia proporcionar o último SKU não selecionado é insignificante em comparação do ganho acumulado total.

2.4.6 *Armazenar tudo, nada ou a quantidade ótima*

Para alguns SKUs o volume v_i^* pode representar uma parte importante do seu volume armazenado no CD. Quando este volume é relativamente pequeno o SKU pode ocupar, por exemplo, a metade de uma prateleira na FPA e outra metade na reserva. Isto levaria a um desperdício de espaço. Este desperdício pode ser evitado alocando todo o volume do SKU i armazenado no CD na FPA.

Dessa forma, o seguinte critério é considerado: para um SKU escolhido para ser armazenado na FPA, se v_i representa todo seu volume no CD e se $v_i < 2 \frac{c_r f_i}{sp_i}$ então será alocado o volume v_i na FPA, caso contrário, será alocado só o volume v_i^* na FPA.

Então, para qualquer SKU i , ou todo o volume disponível, ou nada, ou o volume ótimo é alocado na FPA.

2.4.7 *Redirecionar os pickings não rentáveis*

O ganho unitário de um *picking* na FPA é definido por $s = c_2 - c_1$. v_i designa o volume do *picking* e v_i^* o volume alocado ao SKU i na FPA. O custo unitário de um *picking* de volume v_i pode ser escrito como: $c_r v_i/v_i^*$. c_r representa ainda o custo de ressurgimento, ou seja, o custo de um *picking* de volume igual a v_i^* .

Para um SKU armazenado na FPA e na reserva, o *picking* na FPA é considerado rentável quando seu ganho é maior que seu custo, ou seja, quando:

$$c_2 - c_1 > c_r v_i / v_i^* \quad (7.1)$$

Ou:

$$v_i < s v_i^* / c_r \quad (7.2)$$

Um *picking* cujo volume v_i não respeite a equação 7.2 deverá ser realizado diretamente na área de ressuprimento.

2.4.8 Tamanho ótimo da FPA

Uma FPA maior pode armazenar mais SKUs ou armazenar quantidades maiores dos SKUs presentes, o que leva respectivamente a mais ganhos em tempo de *picking* ou a menos ressuprimentos. Mas uma FPA maior leva também a um aumento dos caminhos percorridos pelos operadores para cada *picking*.

Pode ser determinado precisamente quanto um aumento no tamanho da FPA reduz o ganho por *picking* e assim achar um tamanho ótimo.

Considerando uma FPA composta de corredores paralelos, o fato que o ganho em tempo de *picking* diminui linearmente a cada corredor adicionado é assumido. A taxa à qual ele diminui depende das características de cada CD e pode ser medida estudando estatisticamente os tempos de movimentos no CD. S representa esta taxa de decaimento.

Considerando:

- V_0 : o volume atual da FPA,
- V : o volume futuro da FPA, depois extensão,
- s_0 : o ganho por *picking* atual,
- s : o ganho por *picking* depois extensão.

O ganho por *picking* pode ser considerado como função linear decrescente do volume da FPA, então:

$$s = s_0 - SV \quad (8.1)$$

O ganho proporcionado pelo armazenamento na FPA do volume v_i^* dos k SKUs mais eficientes é:

$$\sum_i^k (sp_i - c_r f_i/v_i^*) \quad (8.2)$$

Substituindo, v_i^* pela sua expressão $v_i^* = \frac{\sqrt{f_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{f_j}} V$ (1.4) leva a:

$$s \sum_i^k p_i - \frac{c_r}{V} \left(\sum_i^k \sqrt{f_i} \right)^2 \quad (8.3)$$

Usando a expressão (8.1) para substituir s , dá:

$$(s_0 - SV) \sum_i^k p_i - \frac{c_r}{V} \left(\sum_i^k \sqrt{f_i} \right)^2 \quad (8.4)$$

Derivando (8.4) em relação a V , igualizando a zero e resolvendo em relação a V leva a:

$$V^* = \sqrt{\frac{c_r}{S \sum_i^k p_i} \sum_i^k \sqrt{f_i}} \quad (8.5)$$

Enfim, v_i^* pode ser reescrito a partir da expressão (1.4) e da última equação (8.5):

$$v_i^* = \sqrt{\frac{c_r f_i}{S \sum_i^k p_i}} \quad (8.6)$$

O problema de dimensionamento da FPA, de seleção e de alocação dos SKUs nas quantidades ótimas pode ser resolvido assim:

- Calcular para cada SKU seu volume ótimo v_i^* seguindo (8.6).
- Classificar os SKUs por ordem de rendimento decrescente.

- Calcular os ganhos $\sum_i^k (sp_i - c_r f_i/v_i^*)$ onde primeiramente $k = 1$, ganho proporcionado pelo primeiro item da lista, depois para $k = 2$, ganho proporcionado pelos dois primeiros itens da lista, e assim por diante.
- Selecionar os k primeiros SKUs que maximizam o ganho. O resultado determina simultaneamente o tamanho ideal da FPA, juntamente com os SKUs a armazenar e seus volumes.

Esta revisão bibliográfica apresentou as bases contextuais, funcionais e matemáticas necessárias para abordar o problema de implementação de FPA em um centro de distribuição. À luz desta teoria, o diagnóstico da situação atual do CD estudado e a aplicação do modelo levando ao dimensionamento desta FPA nesta empresa de XYZ serão feitos nos capítulos seguintes.

3 Contextualização, diagnóstico e proposta

Este capítulo apresenta na sua primeira parte os elementos necessários à compreensão do ambiente de trabalho deste estudo, como a organização do CD ou o material usado. A situação atual será diagnosticada na segunda parte.

3.1 Perfil do local

Nesta seção são apresentados o CD e a Zona Ouro, dois lugares que vão concentrar as atenções a partir de agora e até o final deste estudo.

3.1.1 O centro de distribuição

A descrição do CD é dividida entre sua organização física e sua organização funcional.

3.1.1.1 Organização física

O CD estudado tem 2560 m² de área no térreo e 1240 m² de mezanino ou seja, uma área total 3800 m². Ele é de forma retangular com as seguintes dimensões: 75 metros de largura e 37 metros de comprimento.

Ele reúne mais de 5000 itens de volumes, pesos e características diferentes. De acordo com esta diversidade, ele possui um *layout* composto de diversos equipamentos, estantes simples para os itens menores, porta paletes para os itens mais pesados ou volumosos, sala ventilada para os produtos químicos perigosos e sala trancada para os itens sujeitos a furtos.

Existem treze áreas definidas pela sua localização, pela sua estrutura de armazenagem e pelo tipo de item que ela armazena. Entre elas existem as áreas *Zona Ouro*, *Porta Paletes*, *Pisos*, *Plásticos*, *Sala de Inflamáveis*, *Sala de Tintas*, *Mezanino*, *Iluminação*, *Eletrônica*, *EPI* (Equipamento de Proteção Individual), *Maquiagem*, *Tecidos e Ferragens*.

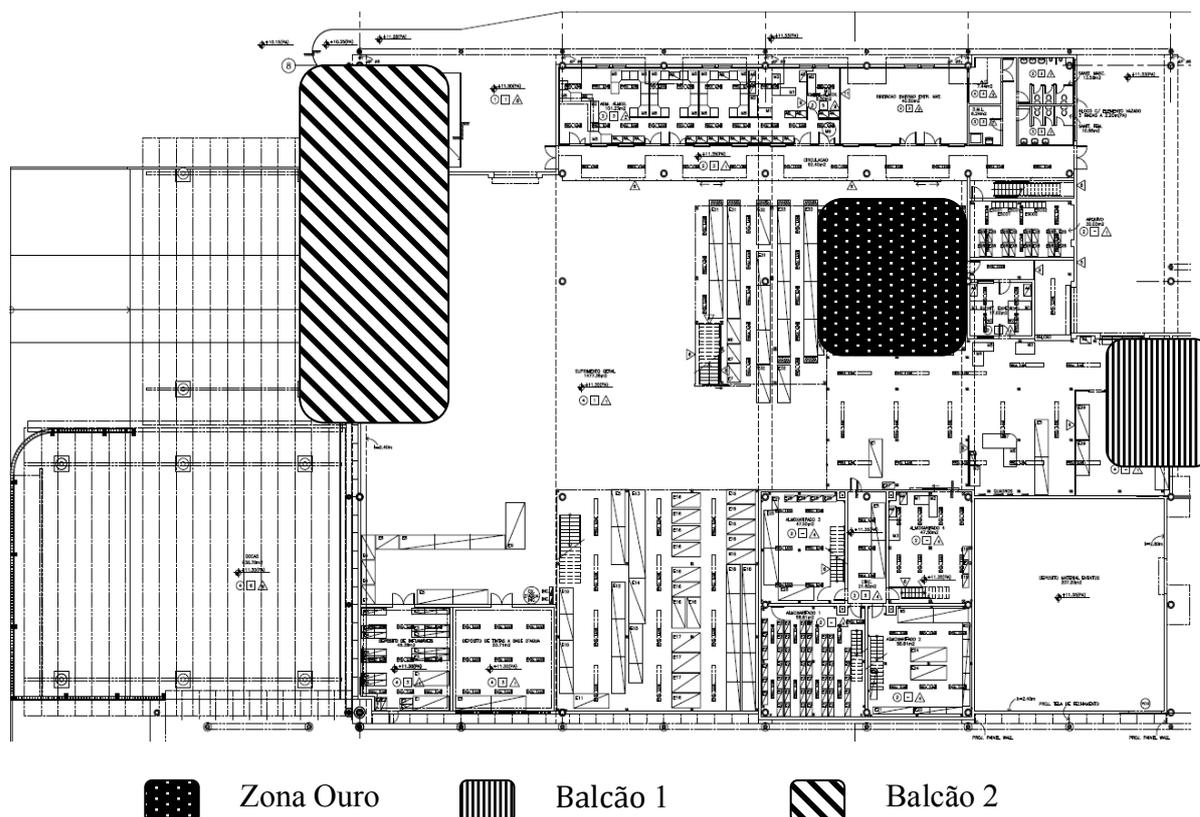


Figura 9 - Planta do CD

Existem duas docas de recebimento no CD e duas zonas de expedição identificadas como *Balcão 1* e *Balcão 2*. Os balcões 1 e 2 são localizados aos lados opostos do CD (figura 9). O balcão 2 é usado para a expedição dos materiais de construção (madeiras, tintas, ...) e os demais itens são expedidos pelo balcão 1 ou 2, dependendo do volume do pedido ou do tipo de veículo usado.

3.1.1.2 Organização funcional

As políticas de armazenamento e de *picking* do CD serão discutidas nesta parte.

3.1.1.2.1 Política de armazenamento

Como descrito na seção anterior o CD é dividido entre diferentes zonas e cada zona armazena um tipo específico de SKU. Quando um SKU chega pela primeira vez no CD, ele não tem nenhuma localização definida. Primeiramente, ele vai ser alocado a uma família de itens. Existem 36 famílias de itens diferentes repertoriadas no BD, entre

elas tem as categorias *Construção, Elétrica, Ferramentas, ferragens e hidráulica, Tintas, solventes e vernizes, Materiais para transformação, Adesivos e colas, Broadcast, Combustíveis, óleos e lubrificantes, Acondicionamento e embalagem, Têxteis, costuras e vestuários, Produtos químicos e gases, Armazenagem e movimentação de carga*. Em seguida, de acordo com sua família e suas características físicas, o SKU vai ser alocado em uma zona de armazenagem adequada.

Todas as áreas do CD são organizadas seguindo uma política de armazenamento dedicada. Cada item tem um endereço fixo. Esta política é relativamente adequada, pois os SKUs possuem um ciclo de vida bastante longo. Este armazenamento dedicado é misturado com um sistema aleatório de alocação, ou seja, os novos SKUs podem ser alocados nos espaços livres com igual probabilidade. Pode ser anotado entretanto uma exceção, a zona *Porta Paletes*, na qual foi feita uma análise ABC. As madeiras de tipo B e C, *slow movers*, foram armazenadas em *cantilevers* para verticalizar o *layout* e assim ganhar espaço no chão.

3.1.1.2.2 *Política de picking*

O sistema de *picking* é do tipo *pick-to-part*, ou seja, um sistema manual onde o operador se desloca para separar os itens. Os operadores usam uma empilhadeira para movimentar os SKUs volumosos ou pesados, essencialmente as madeiras, e usam paleteiras manuais para os itens menores. Uma política de *picking* discreta é usada, cada operador é responsável por um pedido que ele separa e descarrega, antes de começar um novo *picking*. Apesar de ter um zoneamento no CD, o *picking* não é organizado por zona, ou seja, não tem um operador responsável pela separação dos itens de uma zona específica. Existe também uma exceção aqui, um operador é responsável pelos *pickings* da área que armazena os SKUs sujeitos a furtos e que fica então trancada.

Não existe uma política de roteamento determinada no CD, pois os operadores efetuam os *pickings* na ordem que eles consideram a melhor.

3.1.2 *A Zona Ouro*

3.1.2.1 *Organização física*

A Zona Ouro é uma área retangular de 132 m² de 11 m de largura, 12 m de comprimento e 3 metros de altura. Ela possui treze ruas separadas por sete corredores. Cada rua tem entre oito e dez estantes de 92 cm largura, 47 cm de profundidade e 2,8 m de altura. No total, existem 737 posições de armazenagem em prateleiras e 273 posições de armazenagem em gavetas. Um corredor com mais de 2 m de largura fica no fundo da Zona Ouro (figura 10). Esta área é separada das demais áreas do CD por um balcão que possui vinte prateleiras de 85 cm de largura, 40 cm de profundidade e 30 cm de altura.

A Zona Ouro armazena 1847 itens de 29 categorias diferentes, entre elas, as categorias *Elétrica, Transporte, Ferramentas, ferragens e hidráulica*. De acordo com as dimensões das posições de armazenagem, o local armazena itens pouco volumosos e pouco pesados. A maior parte dos SKUs é armazenada na sua menor unidade de movimentação possível, ou seja, no formato de peça.

3.1.2.2 Organização funcional

A Zona Ouro, como o resto do CD, é organizada segundo uma política de armazenamento aleatória e dedicada. Isto quer dizer que, cada SKU novo é alocado aleatoriamente em uma posição livre que se torna sua localização de armazenagem fixa.

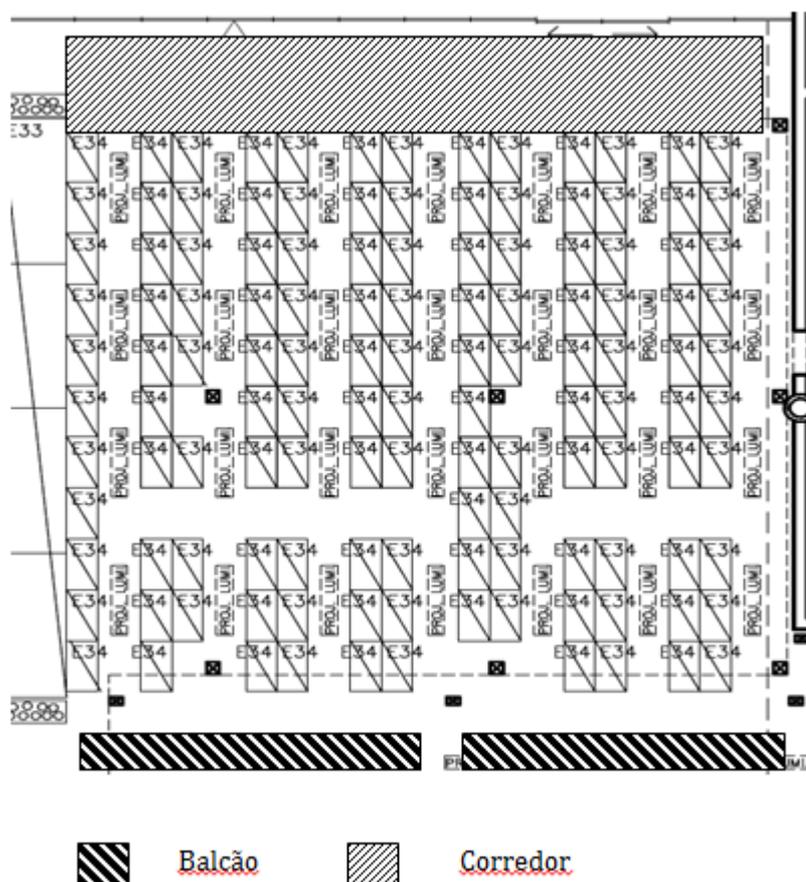


Figura 10 - Planta da Zona Ouro

O *picking* é efetuado por lote manualmente e sem o uso de ferramentas de movimentação. Isto se torna possível pelo fato de que os itens são pouco pesados e porque os corredores são muito estreitos. Não existe nenhuma política de roteamento definida.

3.1.3 Diagnóstico

Esta seção visa a analisar os dados apresentados nos parágrafos anteriores, identificar as áreas estratégicas e os espaços ociosos.

A Zona Ouro foi identificada como área estratégica no CD por diferentes razões:

- De todas as áreas de armazenamento do CD, ela é a mais perto do balcão de expedição 1 (figura 9). O caminho percorrido por um operador efetuando um *picking* nesta área é então mínimo.
- 93,1% dos itens de popularidade A (potenciais candidatos para alocação na FPA) saem do CD pela zona de expedição 1.
- A Zona Ouro possui oportunidades de melhor uso do espaço. O balcão de atendimento (figura 10) é vazio e o espaço atrás desta área (o corredor também representado na figura 10) é mal aproveitado.

O balcão da Zona Ouro foi identificado como altamente estratégico porque ele representa a zona de armazenagem com a melhor localização dentro da zona mais estratégica do CD. O *picking* de um item armazenado no balcão é realizado a alguns metros do local de atendimento e então em alguns segundos.

Existem cinco áreas identificadas como afastadas do balcão, ou de acesso difícil, que armazenam itens sem requisitos específicos de armazenagem (local refrigerado, ventilado, trancado, etc). Estas áreas são: *Mezanino*, *EPI*, *Iluminação*, *Tecidos*, *Maquiagem*.

3.2 Perfil dos itens

Como comentado nos parágrafos anteriores, mais de 5000 itens são armazenados no CD estudado, o que representa uma grande variedade de tamanhos, pesos e outras características físicas. Além da categorização por famílias já existente, uma classificação dos SKUs por demanda é necessária. Uma medida absoluta da demanda é

indispensável em um processo de melhoria da produtividade de um CD por reorganização do espaço.

3.2.1 Análise ABCD

A demanda absoluta foi analisada e os SKUs foram categorizados em quatro popularidades A, B, C segundo um modelo de Pareto. Primeiramente o número de linhas de pedidos de cada item no período estudado e sua porcentagem em relação ao número total de linhas de pedidos foram calculados. Em seguida, os SKUs foram classificados por número de linhas de pedidos decrescente e uma coluna de linhas de pedidos acumuladas foi criada. A categoria A reúne os itens do topo da lista responsáveis por 80% das linhas de pedidos acumuladas, na categoria B os itens seguintes até chegar a 90% das linhas de pedidos acumuladas e na categoria C os itens restantes. Os resultados desta análise são resumidos na figura 12 e na tabela 1.

Tabela 1 - Repartição ABC dos itens do CD

Popularidade	Linha de pedidos acumuladas	Itens	Número de itens
A	80%	9%	331
B	90%	11%	368
C	100%	80%	2773

Somando o número de itens de cada popularidade, foi encontrado um total de 3472 itens. Foi lembrando no início desta seção que mais de 5000 itens são repertoriados no CD. Esta diferença é devida a um número considerável de SKUs sem pedidos registrados há vários anos. Foi decidido então adicionar uma categoria D representando os itens sem movimentação há quatro anos.

A repartição dos SKUs entre as categorias A, B, C, e D foi analisada em cada zona do CD e os resultados para algumas zonas são apresentados nos gráficos da figura 11.

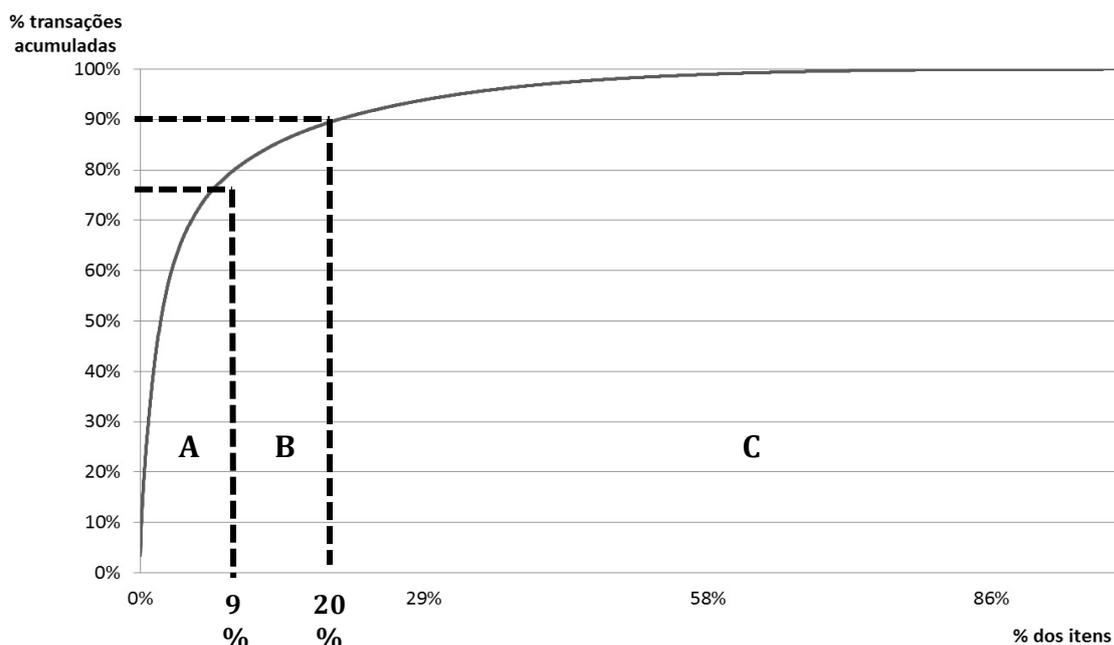


Figura 11 - Linhas de pedido acumuladas - Análise ABC

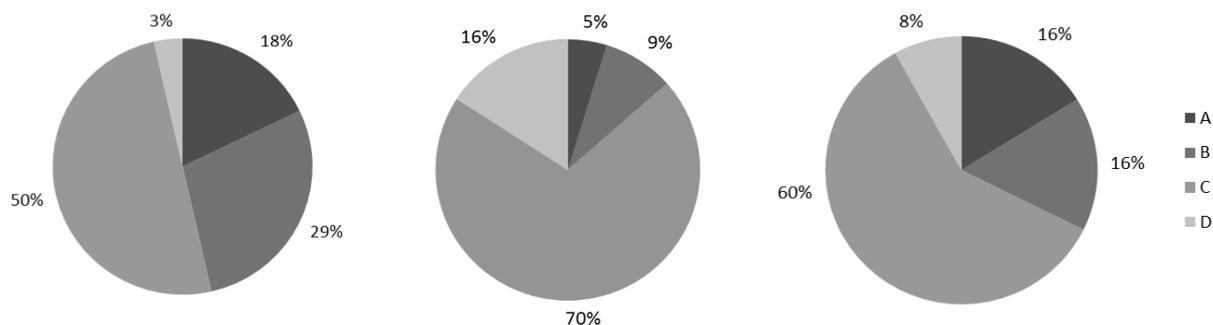


Figura 12 - Repartições dos itens entre as categorias ABCD (Mezanino, Zona Ouro, Sala de inflamáveis)

3.2.2 Diagnóstico

No objetivo de diferenciar os itens que movimentam mais dentro de uma dada popularidade, foi adotado um indicador: o Tempo Médio Entre Pedidos (TMPEP). Este TMPEP foi particularmente usado na categoria C que foi dividida em duas subcategorias:

- os itens C com TMPEP inferior ou igual a trinta dias, e
- os itens C com TMPEP superior a trinta dias (TMPEP > 30 dias).

Foi constatado de acordo com o BD e confirmado por um levantamento *in loco* que os itens C com TMPEP > 30 dias e os itens D da Zona Ouro ocupavam 360 prateleiras e 15 gavetas, ou seja, mais de cinco ruas de estantes.

Foi descoberto também que 48 itens A eram armazenados nas zonas qualificadas no diagnóstico anterior de "afastadas" da área de expedição 1.

Para algumas zonas como *Mezanino* ou *EPI* (figura 13), estes itens A representam uma parte importante dos itens armazenados no local.

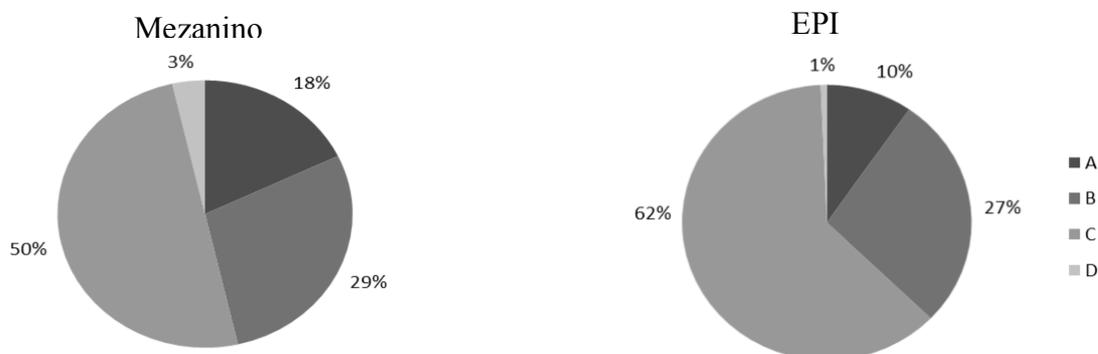


Figura 13 - Repartição dos itens entre as categorias ABCD no Mezanino e na zona EPI

3.3 Proposta de melhoria

De acordo com os diagnósticos feitos nas seções anteriores e no objetivo de melhorar o desempenho do CD em termo de produtividade, uma proposta de melhoria em três pontos foi apresentada:

- Realocar os itens C com TMEP > 30 dias e os itens D da Zona Ouro em uma zona menos estratégica, no *Mezanino* por exemplo.
- Adicionar um estante no fundo de cada rua no espaço não aproveitado atrás da Zona Ouro.
- Criar uma *Fast Picking Area* na Zona Ouro para os itens A das áreas afastadas das zonas de expedição ou com um *layout* impedindo um *picking* rápido (*Mezanino*, *EPI*, *Iluminação*, *Tecidos*, *Maquiagem*).

O espaço liberado na Zona Ouro pela realocação dos itens C com TMEP > 30 dias e dos itens D e pelo aumento do comprimento das ruas é descrito na tabela 2.

Tabela 2 - Liberação de espaço na Zona Ouro

Motivo da liberação Tipo de espaço liberado	Realocação dos itens C com TMEP>30 e D	Aumento do comprimento das ruas da Zona Ouro	Espaço total liberado
Estantes	51,4	15	> 5,7 ruas
Gavetas	6	0	

Foi previsto então de liberar mais do que 5,7 ruas na Zona Ouro, o que representa 44% do espaço de armazenamento desta área. De acordo com as previsões, uma reorganização no armazenamento dos demais itens levará a um espaço total liberado de 6 ruas. Então, 6 ruas foram consideradas disponíveis na Zona Ouro para implementação da FPA.

Dos 48 itens A presentes nas áreas afastadas da zona de expedição, 5 não têm dimensões padronizadas, e portanto, não serão alocado na FPA. Um dos itens da área *EPI* também não será alocado na FPA, porque está sujeito a furtos.

Devido a grande diversidade de volumes existente entre os 42 itens restantes, foi decidido dividir o *layout* da FPA em duas partes. O balcão da Zona Ouro, de acordo com sua estrutura, armazenará os itens menores (itens com volume inferior a 10 000 cm³) e três porta paletes, a serem instalados nas seis ruas liberadas, armazenarão os itens com volumes maiores (itens com volume superior a 10 000 cm³).

4 Dimensionamento e organização da *Fast Picking Area*

O terceiro ponto da proposta de melhoria apresentada na seção anterior, apontou a possibilidade de implementar uma FPA na Zona Ouro no objetivo de melhorar a produtividade da atividade de *picking*. O modelo de otimização de Bartholdi e Hackman (2011), objeto de estudo da segunda parte deste trabalho, propôs escolher os itens a alocar e seus volumes e determinar o tamanho ideal da FPA. A proposta de melhoria já considera um grupo de potenciais candidatos, os itens A das áreas afastadas da zona de expedição. A primeira parte desta seção visa assim a verificar se estes itens, candidatos potenciais, podem se tornar candidatos reais.

O volume disponível para a implementação também foi determinado. Seis ruas são disponíveis na Zona Ouro para implementar os porta paletes e o balcão será livre para os itens menores. A segunda parte deste parágrafo apresenta a organização do *layout* dos porta paletes.

A terceira parte, mostra a aplicação do modelo de otimização de Bartholdi e Hackman no objetivo de determinar o volume atribuído a cada SKU na FPA.

O método utilizado para alocar os SKUs nas localizações de armazenamento é apresentado na quarta parte.

Enfim, a quinta parte, estima os ganhos proporcionados pela FPA.

4.1 Estudos preliminares

4.1.1 Sazonalidade

Algumas medidas de sazonalidade são fundamentais no processo de atribuição de um espaço de armazenamento para uma lista de itens. Flutuações de demanda imprevistas podem levar a dimensionamentos de espaço errados. Picos de demanda para um SKU armazenado na FPA podem levar a ressuprimentos mais frequentes, o que pode até anular o ganho proporcionado pela redução do tempo de *picking* na área *forward*.

A condição do parágrafo 2.4.5 necessária para que a alocação do item i na FPA seja benéfica é lembrada:

$$G_i > 0 \quad (9.1)$$

$$sp_i - c_r f_i/v_i > 0 \quad (9.2)$$

G_i representa o ganho proporcionado pela alocação do item i na FPA,

$s = c_2 - c_1$ onde c_1 o custo do picking na FPA e c_2 o custo do picking na área de ressuprimento,

p_i é o número de picking anual previsto do item i ,

c_r é o custo de ressuprimento da FPA,

f_i é a vazão volumétrica anual do item i , ou seja, a demanda esperada,

v_i é o volume do item i alocado na FPA, calculado a partir da expressão 1.4,

f_i/v_i representa o número de ressuprimentos anual necessário para manter o estoque do item i na FPA.

Para serem alocados na FPA todos os SKUs deverão respeitar a expressão 10.1, ou seja, proporcionar ganhos positivos. Isso pode facilmente ser verificado calculando as médias anuais de p_i e f_i a partir do BD. No entanto, ganhos anuais podem esconder desperdícios mensais que poderiam ser evitados por uma realocação temporária dos SKUs correspondentes ou pela realização dos *pickings* diretamente na área de ressuprimento.

A inequação 10.2 é reescrita da seguinte forma,

$$f_i < \frac{p_i s v_i}{c_r} \quad (9.3)$$

Os membros da inequação 10.3 foram comparados para cada SKU potencial candidato à alocação na FPA considerando médias mensais dos termos p_i e f_i calculadas para os anos 2009, 2010, 2011 e 2012. Os gráficos das figuras 14 e 15 apresentam as variações mensais de p_i e f_i para os itens "Camisa Polo GG" e "DVD-R 4,7GB" respectivamente. Foi observado no caso dos DVD-R que as médias mensais de p_i e f_i parecem proporcionais e a validade da expressão 10.3 foi verificada ao longo do ano. No entanto, para o item Camisa Polo GG, foi constatado que no mês de dezembro a demanda f_i aumenta muito em relação ao número de pickings p_i . Segundo a expressão 10.3, tal comportamento pode levar a perdas, o que foi verificado pelo cálculo. Exatamente o mesmo tipo de comportamento foi observado para os itens "Calça Jeans N42", "Calça

Jeans N44" e "Calça Jeans N46". Esta variação particular no fim do ano para os itens da categoria "Uniforme de trabalho" é explicada pela substituição dos uniformes dos funcionários neste período. Os responsáveis por esta troca realizam poucos pickings, mas com um volume médio alto o que leva a um desperdício pontual no mês de dezembro.

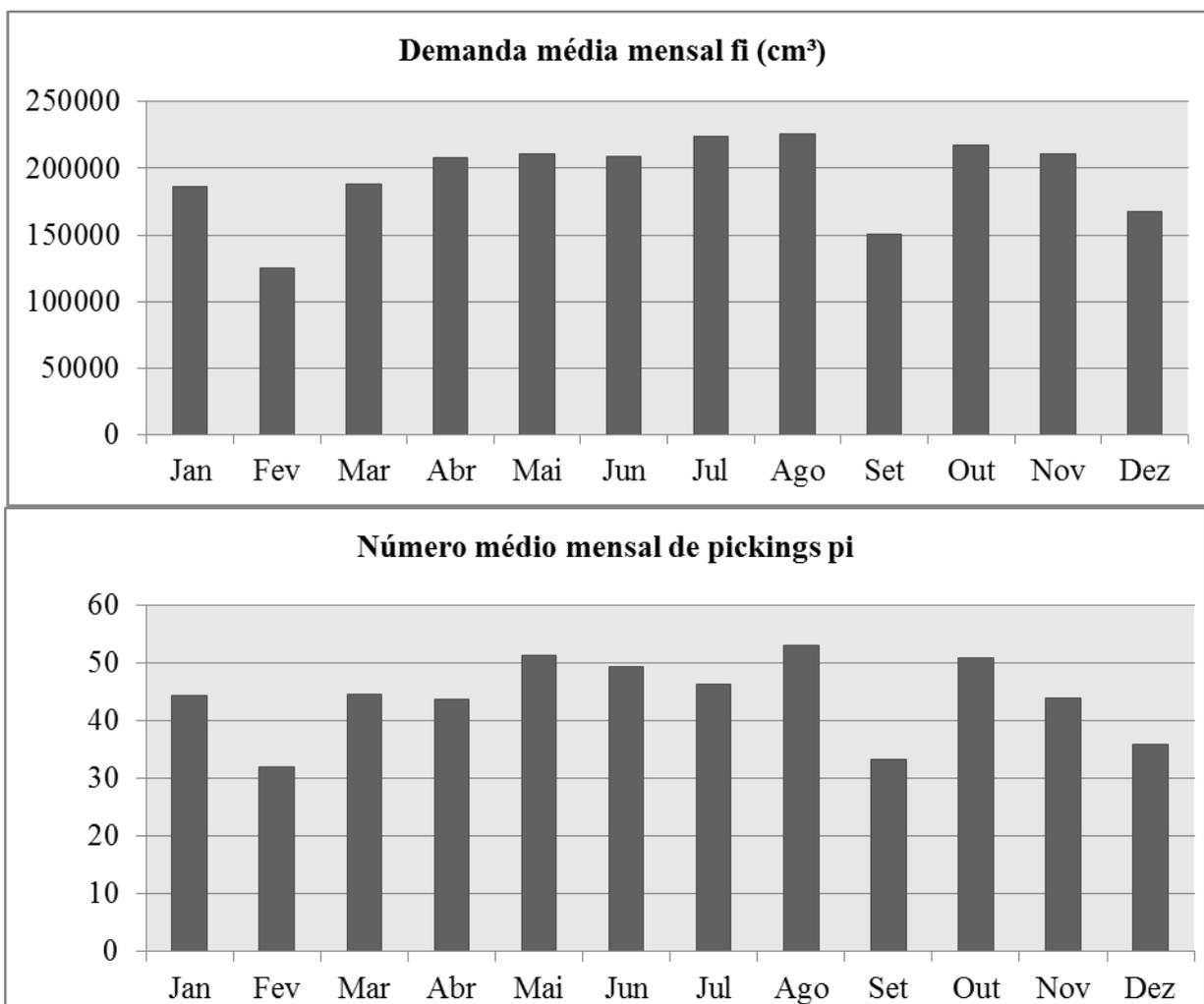


Figura 14 - Demanda média mensal e número de pickings médio mensal - Item "DVD-R 4,7GB"

Foi tomada a decisão de conservar os itens "Camisa Polo GG", "Calça Jeans N42", "Calça Jeans N44" e "Calça Jeans N46" na lista dos potenciais candidatos à alocação na FPA. Contudo, no objetivo de prevenir desperdícios na atividade de *picking* no final do ano, foi decidido realizar os *pickings* deste período diretamente na reserva.

Na seção seguinte será estudado o impacto das correlações que existem entre itens de uma mesma área, ou seja, será avaliado a frequência com a qual dois itens tendem a serem pedidos juntos.

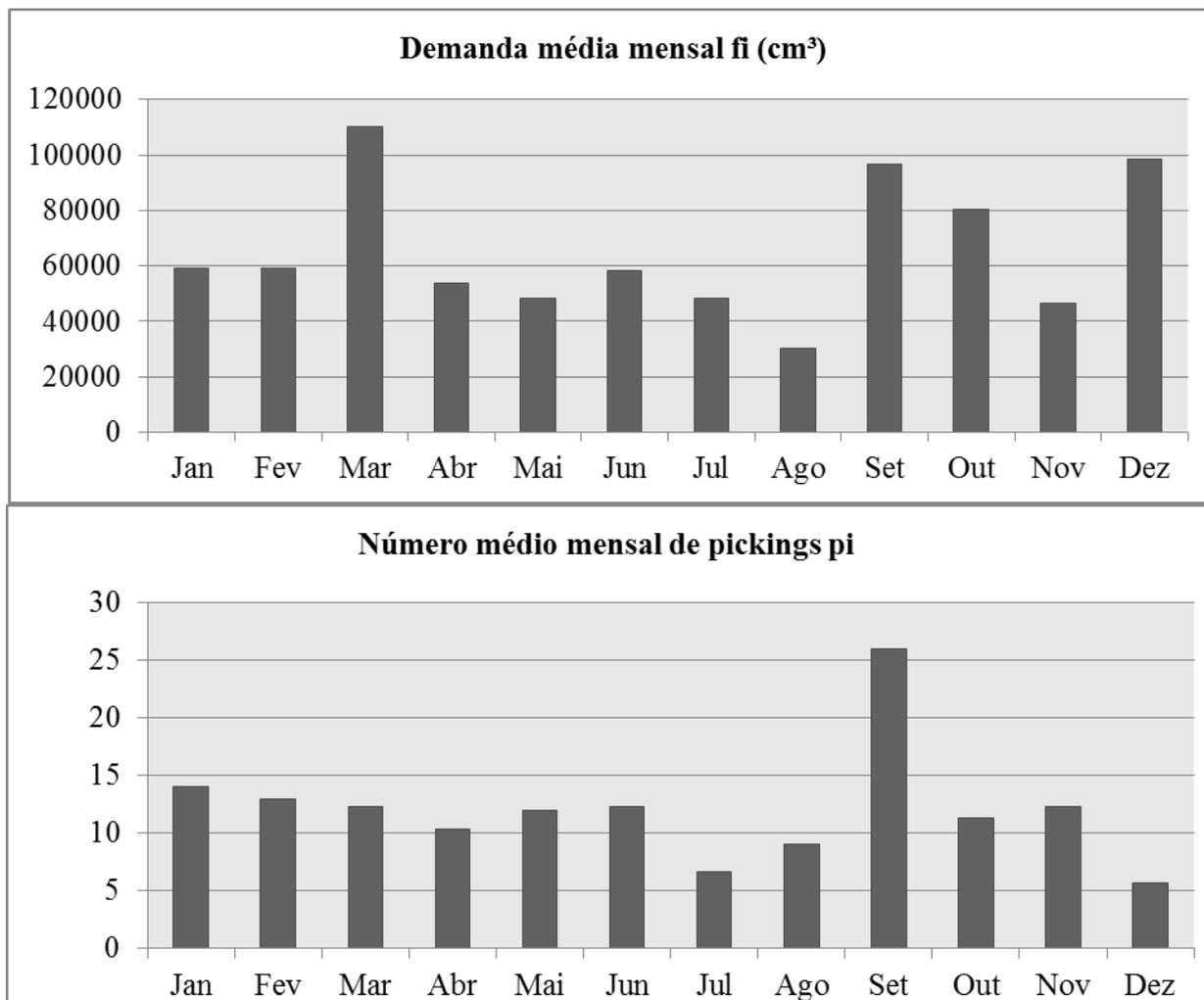


Figura 15 - Demanda média mensal e número de pickings médio mensal - Item "Camiseta Polo GG"

4.1.2 Correlações

Depois de ter visto a lista de SKUs potenciais candidatos à alocação na FPA, um funcionário do CD sugeriu que podiam existir correlações entre itens alocados na área *forward* e outros itens que permaneceriam armazenados nas suas áreas originais. Dois itens são considerados correlacionados quando existe uma probabilidade não nula de um item ser pedido juntamente com outro. Quanto maior a probabilidade, maior a correlação. Tais correlações podem levar a *pickings* improdutivos. Um *picking* improdutivo define um *pickings* que leva à coleta de itens em locais diferentes. Por exemplo, se os dois itens "Óculos de segurança" e "Capacete" pertencerem a um mesmo pedido, eles poderiam ser coletados juntos se armazenados na mesma zona (*picking* produtivo) ou coletados separadamente se armazenados em locais diferentes (*picking*

improdutivos). De fato, o operador percorre um caminho maior se os SKUs de um mesmo pedido são armazenados em áreas diferentes. Este desperdício pode ser insignificante se a correlação é baixa, ou seja, se a frequência com a qual os itens são pedidos juntos é pequena, mas pode impactar negativamente a produtividade da atividade de *picking* no caso de uma alta correlação.

4.1.2.1 Local e itens analisados

As maiores possibilidades de correlação foram identificadas pelos funcionários do CD na área EPI. Sempre que um funcionário novo começa a trabalhar, ele deve fazer um pedido composto por seu uniforme de trabalho e pelos EPIs requeridos pela sua função. Alguns desses itens apresentam então um alto grau de correlação, no entanto eles não pertencem necessariamente à categoria A. Isto significa que alguns deles são destinados à alocação na FPA e outros devem permanecer na área EPI.

Este estudo de correlação visa então a identificar se existem SKUs da área EPI a retirar da lista dos potenciais candidatos e ao contrário se têm itens que devem ser adicionados. 141 itens da área EPI foram analisados considerando os pedidos do ano 2012.

4.1.2.2 Algoritmos

Um primeiro algoritmo foi criado para construir uma matriz de correlação M , cujo elemento $M(i, j)$ representa quantas vezes o item i foi pedido junto com o item j . Um segundo algoritmo gera, a partir da matriz M , duas matrizes $M1$ e $M2$. Os elementos de $M1$ e $M2$ são definidos a seguir:

$$M1(i, j) = \frac{M(i, j)}{M(i, i)}$$

$M1(i, j)$ representa então a porcentagem relativa de pedidos do par (i, j) em relação ao número total de pedidos envolvendo o item i ($M1(i, i)$ representa quantas vezes o item i foi pedido com ele mesmo, ou seja, quantas vezes ele foi pedido no total).

$$M2(i, j) = \frac{M(i, j)}{P_{tot}}$$

P_{tot} representa o número total de pedidos dos itens da área EPI em 2012. Na prática existem $P_{tot} = 4167$ pedidos. $M2(i, j)$ representa então a porcentagem absoluta de

pedidos do par (i, j) em relação ao número total de pedidos na área EPI em 2012. Um terceiro algoritmo foi criado para classificar os itens em quatro níveis de correlação a partir das duas matrizes de porcentagens, e retornar as listas dos itens e das pares por grau de correlação. Os graus de correlação são definidos pelas regras seguintes:

Tabela 3 - Categorias de correlação

Graus de correlação	Porcentagem relativa M1(i,j)	Porcentagem absoluta M2(i,j)
Extremo	$C > 85\%$	$C > 2,5\%$
Alto	$50\% < C < 85\%$	$1\% < C < 2,5\%$
Médio	$25\% < C < 50\%$	$0,25\% < C < 1\%$
Baixo	$0\% < C < 25\%$	$0\% < C < 0,25\%$

Enfim, um quarto algoritmo contabiliza o número de *pickings* improdutivos para cada categoria de correlação. Na tabela 4 é apresentado o resultado do algoritmo de classificação usando a matriz de porcentagem absoluta.

Tabela 4 - Resultados da análise de porcentagem absoluta

Grau de correlação	Condição (% do número total de pedido)	Quantidade de pares	Quantidade de itens	Quantidade de itens da FPA
Extremo	$C > 2,5\%$	4	5	4
Alto	$1\% < C < 2,5\%$	32	19	10
Médio	$0,25\% < C < 1\%$	121	57	19
Baixo	$0\% < C < 0,25\%$	834	130	20

De acordo que a tabela 4 existem 32 pares de itens altamente correlatos o que envolve 10 itens EPI a serem alocados na FPA, ou seja, 46,7% dos itens EPI da FPA.

A tabela 5 apresenta os resultados do algoritmo 4, ou seja, o número de *pickings* improdutivos e sua porcentagem relativa em relação ao número total de *pickings* na área EPI em 2012.

Tabela 5 - *Pickings* improdutivos na área EPI em 2012

Grau de correlação	Quantidade de <i>pickings</i> improdutivos	Quantidade de <i>pickings</i> improdutivos acumulados	Percentual de <i>pickings</i> improdutivos (% do número total de <i>pickings</i>)	Percentual acumulado de <i>pickings</i> improdutivos (% do número total de <i>pickings</i>)
Extremo	448	448	4,2%	4,2%
Alto	1006	1068	9,4%	10,0%
Médio	1526	1908	14,3%	17,9%
Baixo	1188	2308	11,1%	21,7%

Segundo a tabela 5, 21,7% dos *pickings* da área EPI em 2012 têm correlação superior à zero ($C > 0\%$), e então poderiam ser considerados improdutivos.

Será determinado no que segue se os ganhos proporcionados pelos itens EPI potenciais candidatos à alocação na FPA são superiores aos desperdícios devidos aos *pickings* improdutivos. Uma comparação entre o caso sem FPA, ou seja, o *layout* atual, e o caso com FPA, o *layout* futuro, será feita.

As notações seguintes são lembradas:

c_1 o custo de *picking* na FPA,

c_2 o custo de *picking* na área EPI,

c_r o custo de ressuprimento da FPA,

p_i número de *pickings* anual do item i ,

v_i o volume do item i armazenado na FPA,

f_i a vazão volumétrica anual do item i ,

f_i/v_i número de ressuprimentos anual do item i na FPA,

As notações seguintes são definidas:

g o ganho por *picking* proporcionado por um *picking* agrupado (itens armazenados na mesma área) em relação a um *picking* não agrupado,

$p_{i,FPA/FPA}$ o número de *pickings* do item i , candidato à alocação na FPA, agrupado com outro candidato à alocação na FPA,

$p_{i,EPI/EPI}$ o número de *pickings* do item i , armazenado na área EPI, agrupado com outro item armazenado na área EPI,

$p_{i,FPA/EPI}$ número de *pickings* do item i , candidato à alocação na FPA, agrupado com um item armazenado na área EPI (*pickings* improdutivos),

$i \in FPA$: item candidato à alocação na FPA,

$i \in EPI$: item que permanecerá armazenado na área EPI,

$i \in Corr$: item correlato com outro, permitindo *picking* agrupado.

A tabela 6 resume os custos da atividade de *picking* para os SKUs da área EPI nos casos com e sem FPA, diferenciando os potenciais candidatos à alocação na FPA e os demais itens. É usada a mesma notação adotada no modelo de otimização de Bartholdi e Hackman apresentado na segunda parte deste trabalho. O conceito de "ganho por *picking* devido a um *picking* agrupado" foi, no entanto, adicionado. Então, o custo da atividade de *picking* no caso com FPA é igual aos custos de *picking* dos itens alocados na FPA, mais os custos de ressuprimento da FPA, mais os custos de *picking* dos itens armazenados na área EPI, menos os ganhos proporcionados pelos *pickings* agrupados, respectivamente entre itens da FPA e entre itens da área EPI. Enfim, o custo da atividade de *picking* no caso sem FPA é igual aos custos de *picking* de todos os itens da área EPI menos os ganhos proporcionados pelos *pickings* agrupados entre dois itens potenciais candidatos à alocação na FPA, entre dois itens a ser alocados na área EPI e entre um potencial candidato à FPA e um item a ser armazenado na área EPI. Na aplicação do modelo, os custos c_i serão medidos em termo de tempo de operação.

O termo $\sum_{i \in FPA} \left[(c_1 - c_2) p_i - c_r \frac{f_i}{v_i} \right]$, que representa a diferença de custos da atividade de *picking* (sem considerar os ganhos proporcionados pelos *pickings* agrupados), foi calculado entre os casos com e sem FPA, e estimado a -33,5 h. A alocação dos itens EPI candidatos na FPA permitiria economizar 33,5 h de trabalho por ano.

Tabela 6 - Comparação dos custos da atividade de *picking* para os itens EPI com e sem FPA

Custos Grupos de itens	Com FPA (1)	Sem FPA (2)	Diferença (1-2)
Itens candidatos à alocação na FPA	$\sum_{i \in FPA} \left[c_1 p_i + c_r \frac{f_i}{v_i} \right]$	$\sum_{i \in FPA} c_2 p_i$	$\sum_{i \in FPA} \left[(c_1 - c_2) p_i + c_r \frac{f_i}{v_i} \right]$
Itens que ficam na área EPI	$\sum_{i \in EPI} c_2 p_i$	$\sum_{i \in EPI} c_2 p_i$	0
(-) Ganho devido a um <i>picking</i> agrupado	$-\sum_{i \in Corr} g(p_{i,EPI/EPI} + p_{i,FPA/FPA})$	$-\sum_{i \in Corr} g(p_{i,EPI/EPI} + p_{i,FPA/FPA} + p_{i,FPA/EPI})$	$\sum_{i \in Corr} g p_{i,FPA/EPI}$

Então, para que a FPA seja valiosa, a seguinte relação deve ser verificada:

$$\sum_{i \in Corr} g p_{i,FPA/EPI} < 33,5h \quad (11.1)$$

O ganho total proporcionado pelos *pickings* agrupados entre os potenciais candidatos à alocação na FPA e os itens armazenados na área EPI deve ser inferior ao ganho proporcionado pela FPA. A inequação 11.1 é equivalente a:

$$g < \frac{33,5h}{\sum_{i \in Corr} p_{i,FPA/EPI}} \quad (11.2)$$

O denominador da parte direita da inequação 11.2 representa o total de *pickings* agrupados entre itens correlatos, um sendo um potencial candidato a alocação na FPA e

o outro sendo um item armazenado na área EPI. Seu valor pode ser encontrado na tabela 5, $\sum_{i \in Corr} p_{i,FPA/EPI} = 2308$ pickings agrupados. Então, 11.2 é equivalente a:

$$g < 52 \text{ s (11.3)}$$

Medidas realizadas sobre os tempos de operação no CD revelaram que o tempo de *picking* na área EPI, $c_2 = 100$ s. No caso de g ser igual a 52 s, o *picking* de um par de itens agrupados demoraria $2 * (c_2 - g) = 2 * (100 - 52) = 96$ s, ou seja, seria mais rápido que o *picking* de um único item, o que é absurdo. Então, necessariamente $g < 52$ s.

Este estudo de correlação na área EPI confirmou as dúvidas dos funcionários do CD: existe realmente um alto grau de correlação entre os itens EPI potenciais candidatos à alocação na FPA e os itens que permanecerão armazenados na área EPI. No entanto, foi comprovado que a alocação dos itens EPI na FPA proporciona um ganho maior que os desperdícios causados pela separação dos itens correlatos.

Mesmo sendo de grande importância, as análises de sazonalidade e de correlação não modificaram a lista de itens a ser alocados na FPA. Serão alocados então os itens A das áreas afastadas da zona de expedição 1 no balcão e nos porta paletes da FPA. No parágrafo seguinte, será explicado o *layout* escolhido para a zona dos porta paletes.

4.2 *Layout* dos porta paletes

Como explicado na parte três deste trabalho, a realocação dos itens C com TMEP > 30 dias e os itens D da Zona Ouro liberará seis ruas. As ruas 8, 9, 10, 11, 12 e 13 da Zona Ouro (considerando sua configuração atual, figura 16, Planta atual) foram removidas. Existe então um espaço livre de 4,5 m de largura, 11,02 m de comprimento e 3,2 m de altura. O objetivo inicial é desenhar um *layout* proporcionando um volume de armazenamento máximo levando em conta as restrições intrínsecas do CD como os pilares, as larguras padrão dos corredores e os equipamentos de armazenamento fixos.

Primeiramente três opções de *layouts* foram consideradas: com dois porta paletes e um corredor, com dois porta paletes e dois corredores ou com três porta paletes e dois

corredores. A última opção, três porta paletes e dois corredores, foi escolhida pois se adequava melhor às restrições do CD e além de permitir armazenar uma grande variedade de itens considerando os diferentes tamanhos dos porta paletes.

Neste ponto, um processo retroativo definido pelas seguintes etapas foi iniciado:

- 1 - Escolher uma organização precisa dos porta paletes, ou seja, suas profundidades, largura, altura, número de níveis e as alturas dos níveis,
- 2 - Aplicar o modelo de otimização de Bartholdi e Hackman e o método de alocação dos SKUs nos porta paletes como explicado nos parágrafos seguintes,
- 3 - Avaliar os ganhos proporcionados pelo futuro *layout* em relação ao *layout* atual,
- 4 – Identificar oportunidades de melhoria na organização do *layout*,
- 5 - Modificar o *layout* anterior e começar de novo o processo a partir da etapa 2.

Este processo retroativo levou a organização da zona dos porta paletes descrita nas figuras 16 (Planta futura da Zona Ouro) e 17 e resumida na tabela 7.

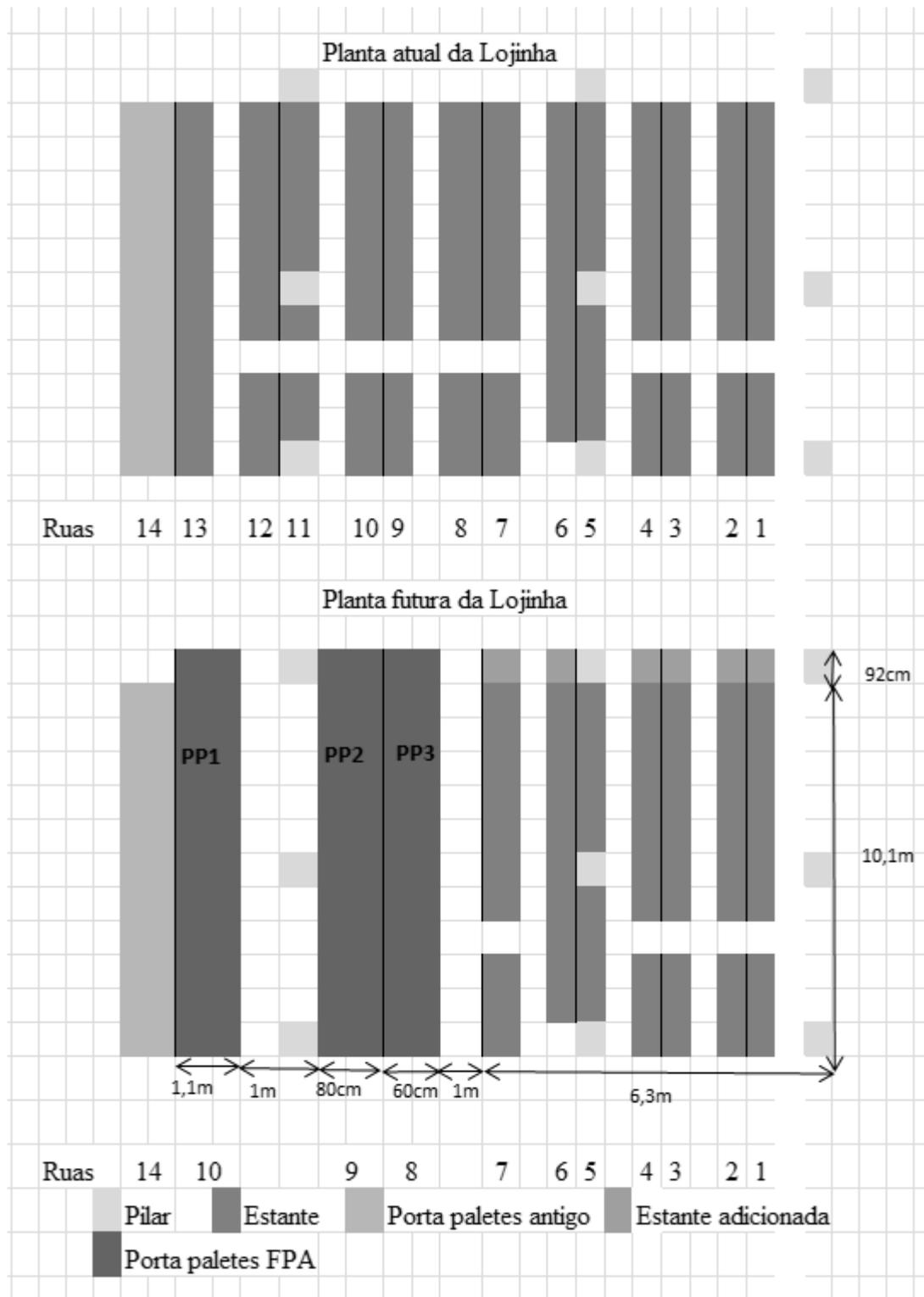


Figura 16 - Plantas atual e futura da Zona Ouro

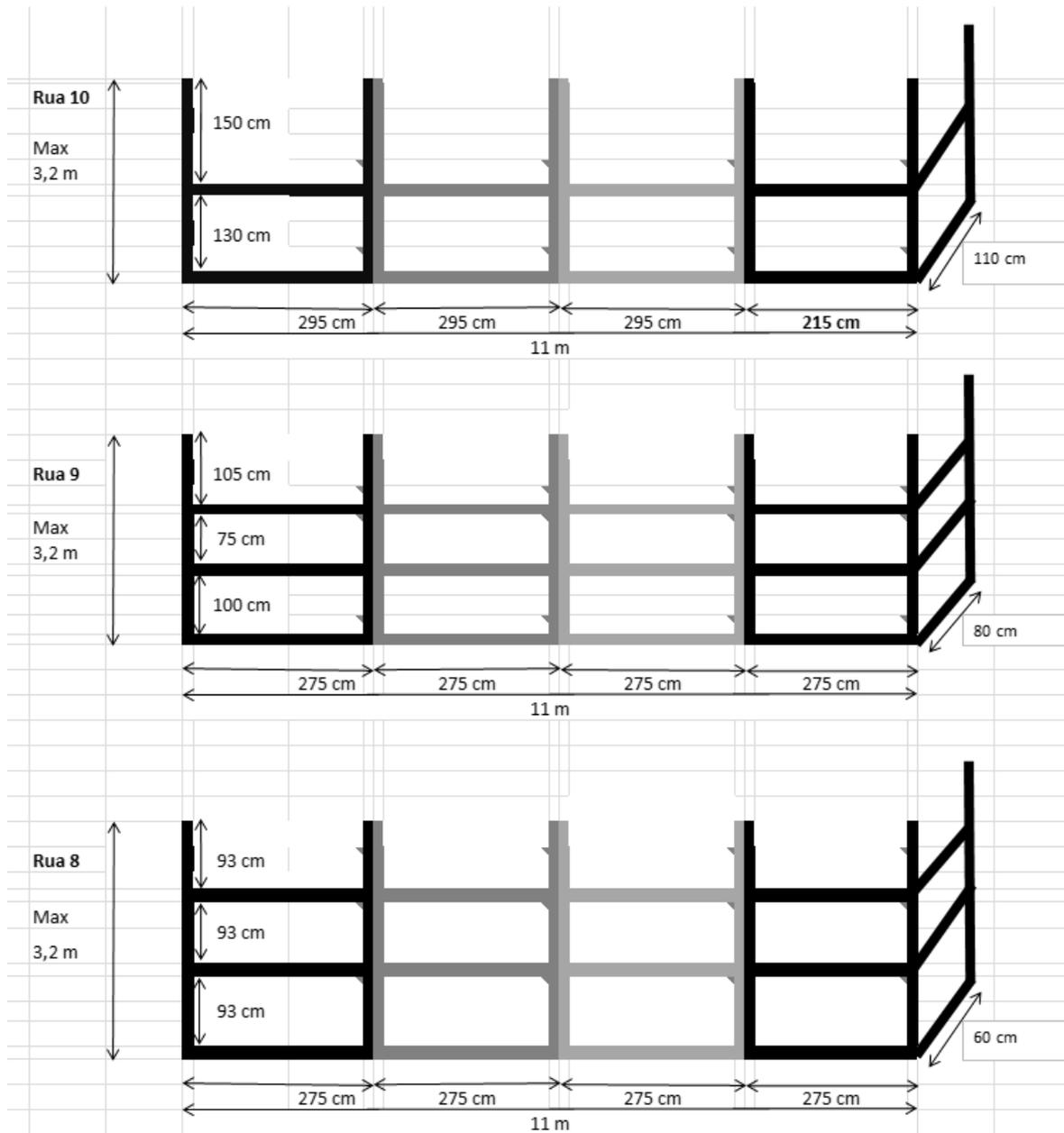


Figura 17 - Organização do *layout* final dos porta paletes

Tabela 7 - Dimensões e organização dos porta paletes da FPA

Rua (LxAxC) (m)	Nível	Altura nível (cm)	Coluna	Largura coluna (cm)
10 (1,1x2,8x11)	1	130	1, 2 e 3	295
	2	150	4	215
9 (0,8x2,8x11)	1	100	1, 2, 3 e 4	275
	2	110		
	3	70		
8 (0,6x2,8x11)	1	93	1, 2, 3 e 4	275
	2	93		
	3	93		

O parágrafo seguinte descreve a etapa 2 do processo retroativo, ou seja, a aplicação do modelo de otimização aos itens escolhidos para a alocação na FPA.

4.3 Aplicação do modelo de otimização

Foi explicado na introdução desta quarta parte que a lista dos itens a ser alocados na FPA já era determinada, bem como o volume da área *forward*. O modelo de otimização de Bartholdi e Hackman vai então, ser usado para determinar o volume v_i^* que cada SKU deve ocupar na FPA. Devido a grande variedade de tamanhos entre os itens, foi decidido criar duas categorias, os itens com volume superior a 10 000 cm³ e os itens com volume inferior a 10 000 cm³, e alocar estes SKUs, respectivamente nos porta paletes e no balcão da Zona Ouro. A expressão 1.4, lembrada abaixo, foi usada para calcular o volume ótimo, v_i^* , do item i a alocar na FPA.

$$v_i^* = \frac{\sqrt{f_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{f_j}}$$

A vazão volumétrica média anual f_i do item i foi calculada multiplicando a média de consumo anual dos anos 2009 até 2012 (ou seja, quantos itens i saíram por ano em média) pelo volume do item. O volume v_i^* alocado a cada item é relativo ao volume consumido anualmente, então quanto maior o volume consumido, maior será a alocação v_i^* para minimizar os ressuprimentos. Os gráficos das figuras 18 e 19 apresentam a repartição dos volumes v_i^* , expressidos respectivamente como porcentagem do volume total da zona porta paletes e do volume total do balcão da Zona Ouro.

De acordo com o gráfico da figura 18, pode ser constatado que o POLIBOLHA INCOLOR, deve ocupar idealmente 39,9% da FPA. Tal alocação é devida a um consumo médio anual muito alto associado ao seu grande volume.

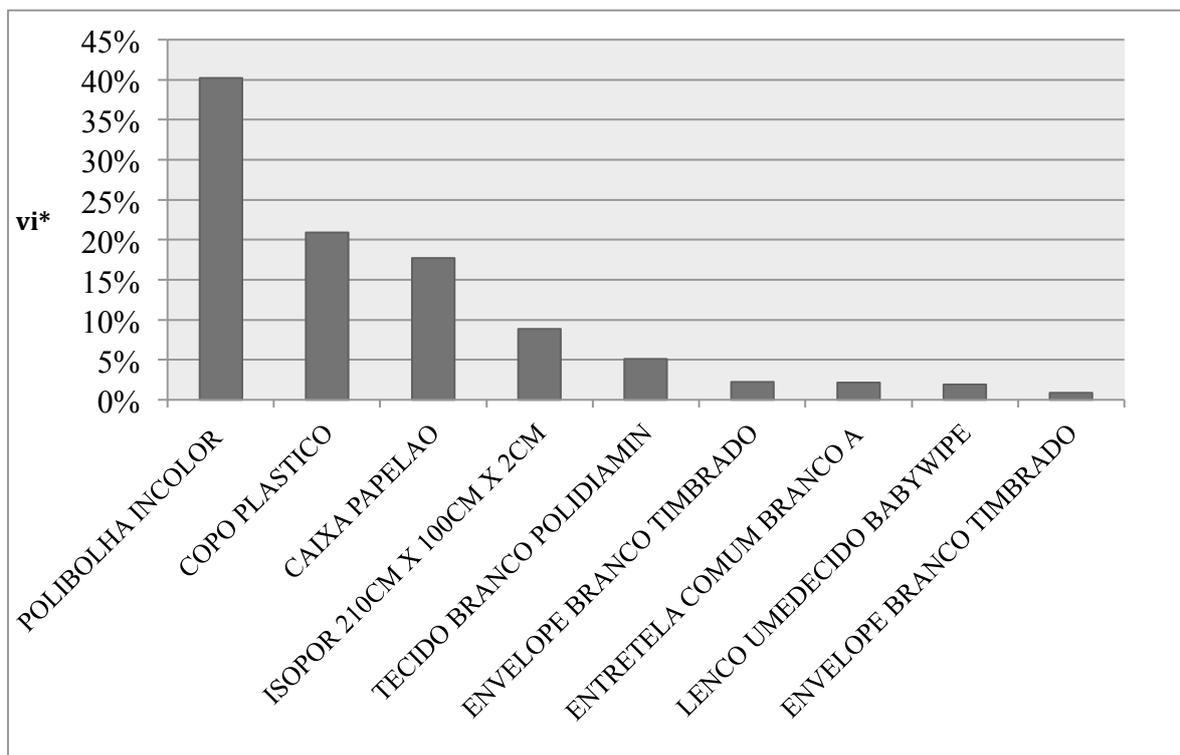


Figura 18 - Volume vi* (%) alocado na FPA - SKUs > 10 000 cm³

Uma vez o volume de cada item a alocar na FPA determinado, é necessário encontrar a melhor forma de armazená-los no balcão e nos porta paletes. O método adotado é descrito no parágrafo seguinte.

4.4 Método de alocação dos itens

Os SKUs a alocar na FPA e seus volumes foram determinados, mas ainda existem várias configurações possíveis para o preenchimento das localizações de armazenamento. Determinar uma configuração de armazenamento se refere à atribuir um ou vários SKUs a uma dada localização no armazenamento e descrever precisamente as orientações escolhidas para cada item. Os objetivos principais deste método de alocação são primeiramente de minimizar o espaço de armazenamento usado, ou seja, armazenar o maior número possível de SKUs por unidade de espaço e, em seguida, alcançar uma eficiência ergonômica, ou seja, armazenar os SKUs populares ou pesados nas localizações a altura da cintura.

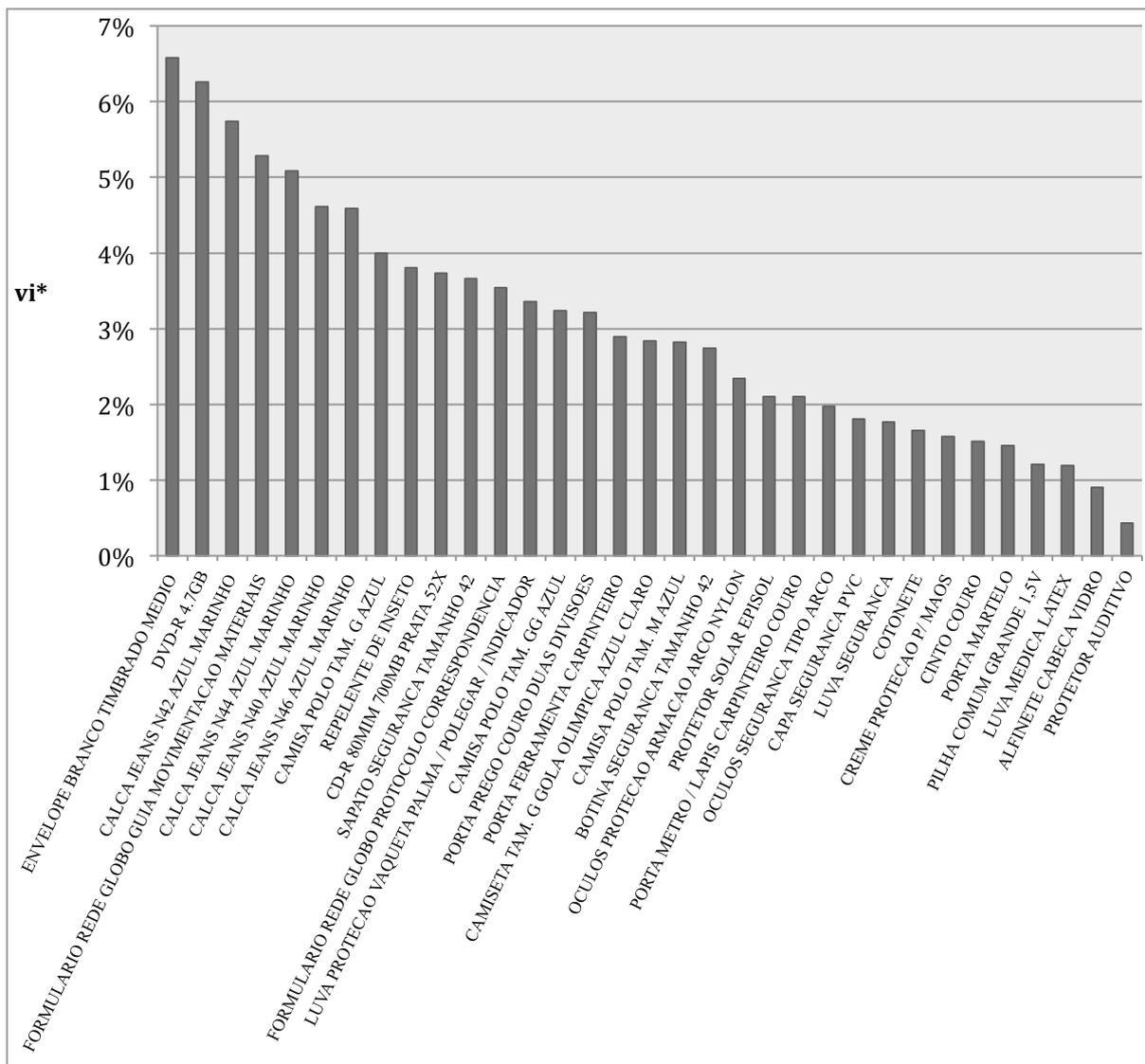


Figura 19 - Volume vi* (%) alocado na FPA - SKUs < 10 000 cm³

4.4.1 Eficiência de armazenamento

No objetivo de comparar as diferentes configurações de armazenamento dos SKUs na FPA, a eficiência de armazenamento foi definida:

$$E_{arm,i} = \frac{\text{Volume do item } i * \text{Número máximo de unidades alocáveis na localização}}{\text{Volume da localização}}$$

Na prática, é impossível armazenar todos os itens com uma eficiência de 100% devido às suas diferentes formas. Por isso, a alocação real nem sempre corresponde à alocação ótima.

Será usado em seguida neste trabalho um termo representando a alocação real em função da alocação ótima e expressido como uma porcentagem: % da alocação ótima média colocada.

4.4.2 *Diferentes posições consideradas*

A grande maioria dos itens e todas as localizações consideradas apresentam uma forma de paralelepípedo. Existem então seis posições diferentes a considerar no momento de armazenar um item em uma localização (figura 20).

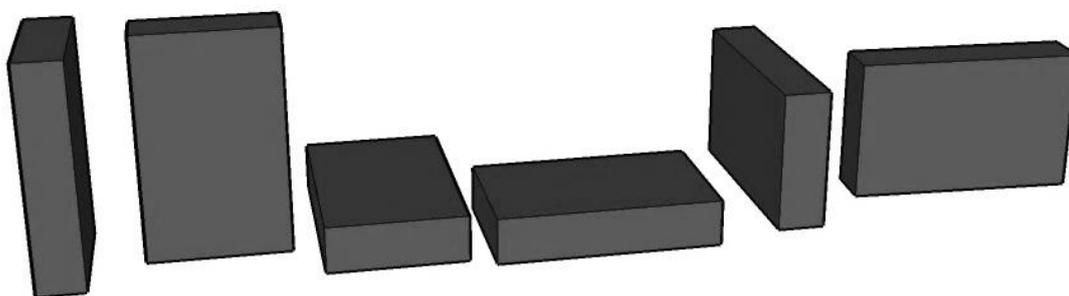


Figura 20 - Seis posições possíveis para um paralelepípedo

O método de armazenamento adotado consiste em escolher, dentro das seis posições possíveis para cada item, aquela que maximiza a eficiência de armazenamento para uma dada localização. É possível desenvolver métodos de armazenamento mais complexos, mas aquele apresentado proporcionou um bom desempenho em termo de eficiência do armazenamento relativamente a sua complexidade de implementação.

Todos os compartimentos do balcão são de tamanho igual, foi considerado então seis possibilidades para cada item de volume inferior a 10 000 cm³. Para os itens com volume superior a 10 000 cm³ a ser armazenados na zona dos porta paletes, um nível de porta paletes foi reservado para cada SKU (figura 16) e foi escolhido entre as seis posições possíveis aquela que maximiza a eficiência de armazenamento, o que levou a $3 \times 6 = 18$ possibilidades diferentes por item.

4.4.3 *Regras de alocação*

As ineficiências de armazenamento impediram na prática alocar os SKUs nas quantidades ótimas determinadas do parágrafo 4.3. Duas opções são então consideradas,

ou tirar alguns itens da lista dos candidatos à alocação na FPA, ou alocar uma quantidade menor de cada item. Foi observado no parágrafo 2.4.5 que o ganho G_i proporcionado pela alocação do item i na FPA é decrescente em relação à quantidade do SKU i armazenada, o que significa que as primeiras unidades alocadas trazem ganhos maiores do que as unidades seguintes. É então muito importante alocar todos os itens candidatos mesmo se as suas quantidades fossem menores do que as quantidades ótimas.

Considerando:

v_i^{min} a alocação mínima do item i a armazenar na FPA, definida no parágrafo 2.4.5,

v_i^* a alocação ótima do item i na FPA,

$C_{i,max}$ a quantidade máxima do item i que pode ser armazenada na localização,

Um conjunto de regras é definido pelas formulas a seguir para a alocação dos itens.

$$\text{Alocação real} = \begin{cases} v_i^*, v_i^* < C_{i,max} \\ C_{i,max}, v_i^{min} < C_{i,max} < v_i^* \\ v_i^{min}, v_i^{min} > C_{i,max} \end{cases}$$

Se a alocação ótima v_i^* for menor que a quantidade máxima $C_{i,max}$ do item i que pode ser armazenada em uma dada localização, este SKU será alocado na sua quantidade ótima v_i^* . Isso significa que esta localização foi preenchida só parcialmente e então, que ela ainda tem um espaço de armazenamento disponível para outros itens.

No caso onde a quantidade máxima $C_{i,max}$ do item i que pode ser armazenada em uma dada localização for menor que a alocação ótima v_i^* e maior que alocação mínima v_i^{min} , o SKU i será alocado na quantidade $C_{i,max}$. Isso significa que este SKU preenche 100% da localização, mas que ele é alocado em uma quantidade menor que aquela prevista teoricamente.

Enfim, se a quantidade máxima $C_{i,max}$ do item i que pode ser armazenada em uma dada localização for menor que a alocação mínima v_i^{min} , o SKU i será alocado na quantidade v_i^{min} . Neste caso, o SKU i ocupa mais que uma localização.

Com este conjunto de regras, todos os itens candidatos foram alocados na FPA. Várias configurações foram experimentadas, mudando entre cada uma a organização do *layout* como descrito no parágrafo 4.2 no objetivo de minimizar as ineficiências de armazenamento, e então, de armazenar uma quantidade máxima de cada SKU.

No próximo parágrafo será apresentado os ganhos esperados que deveria proporcionar a alocação escolhida, bem como as eficiências médias de armazenamento e as porcentagens das alocações reais em função das alocações ótimas.

4.5 Resultados esperados

4.5.1 Balcão

Foi alocado no balcão da FPA 33 itens, ou seja, todos os itens potenciais candidatos à alocação com volume inferior a 10 000 cm³. Os volumes dos SKUs variam entre 71 cm³ e 9374 cm³. A alocação levou à utilização de 19,5 prateleiras do balcão sobre 20 disponíveis, ou seja, à uma ocupação de 97,5% do espaço. As alocações reais representam em média 74,6% das alocações ótimas. Enfim, os ganhos esperados proporcionados pela alocação dos itens no balcão da FPA são de 70,9 horas de operação por ano em comparação à situação atual sem FPA. A alocação ótima levaria a 76,7 horas de ganho anual, o que representa um desvio de 7,6% em relação a situação real esperada.

4.5.2 Porta Paletes

Foi alocado nos porta paletes da FPA 9 itens com volumes superiores a 10 000 cm³, ou seja 100% dos potenciais candidatos à alocação. Os volumes dos SKUs variam entre 15 599 cm³ e 364 500 cm³. 100% dos porta paletes 1 e 2 e 97% do porta paletes 3 são ocupados. As alocações reais representam em média 79,1% das alocações ótimas. Finalmente, os ganhos esperados proporcionados pela alocação dos itens nos porta paletes são de 333,4 horas de operação por ano em comparação à situação sem FPA. A alocação ótima levaria a 340 horas de ganho anual, o que representa um desvio de 1,9% em relação a situação real esperada.

4.5.3 Resumo

Os resultados da alocação dos itens candidatos na FPA são resumidos na tabela 8 a seguir.

Tabela 8 - Resultados da alocação dos SKUs na FPA

	Balcão	Porta Paletes	Total	Situação ótima
% da alocação ótima média colocada	74,6%	79,1%	-	100%
Ganhos anuais (h)	70,9	333,4	404,3	420,2

No total 404,4 horas ou mais de 25 dias de trabalho (considerando dias com 16 horas de operações) na atividade de *picking* deveriam ser economizados por ano com a implementação da FPA, o que representa 7,1% de um ano com 350 dias de trabalho. Este resultado tem somente 3,8% de desvio em relação à situação ótima.

Este ganho anual é bruto no sentido que ele não inclui as perdas envolvidas no aumento dos tempos *picking* para os itens C e D que vão ser afastados da Zona Ouro e os desperdícios provocados pela separação dos itens correlatos, principalmente da área EPI. Entretanto, tais desperdícios foram considerados desprezíveis em relação ao ganho bruto.

Nesta quarta e penúltima parte, foi analisado os efeitos da sazonalidade e das correlações sobre a lista dos potenciais candidatos à alocação na FPA. Todos os itens pré-selecionados permaneceram na lista, mas para quatro deles, os *pickings* durante o mês de dezembro foram mudados na área de ressuprimento. Em seguida, o processo retroativo usado para encontrar o *layout* ideal da zona dos porta paletes foi apresentado. Foi lembrado brevemente o cálculo que permitiu achar os volumes ótimos a alocar na FPA para cada SKU e foi apresentado o método desenvolvido para alocar os itens nas localizações de armazenamento. Enfim, no último parágrafo, o desempenho esperado da FPA foi avaliado. Tudo leva a crer que ela trará melhorias importantes de produtividade no CD como comprovam, seus significativos ganhos anuais em tempo de operação.

5 Conclusão

Os esforços deste estudo foram direcionados no CD, espaço físico da cadeia de suprimento que concentra a maior parte dos custos da logística e que constitui um elo decisivo em relação ao nível de serviço propondo ao cliente. Tentando corrigir o fato de que os CDs são geralmente organizados pela sabedoria popular, um modelo matemático de otimização foi apresentado e aplicado no objetivo de minimizar o trabalho agregado da mão de obra na atividade de *picking* pela implementação de uma FPA.

O contexto atual na cadeia de suprimento foi apresentado, justificando este interesse particular para o CD. As operações internas desses centros foram detalhadas confirmando a relevância da atividade de *picking* no processo de melhoria das operações e de redução dos custos de logística. O modelo matemático de otimização de Bartholdi e Hackman (2011), resolvendo o problema *forward-reserve*, foi exposto, aplicado e ajustado a um caso concreto em um CD de mais de 5000 itens na empresa XYZ. Uma atenção peculiar foi dada na escolha dos itens a armazenar na FPA desenvolvendo estudos de demanda, de sazonalidade e de correlação visando a validar esta seleção.

A aplicação do modelo levou a determinar o espaço a alocar na FPA para 42 itens de alto giro. Em seguida, um procedimento para a alocação dos SKUs nas diferentes localizações de armazenamento foi elaborado e aplicado. Finalmente, esses 42 SKUs foram alocados em uma zona de armazenamento de 95,6 m³ e levarão a economizar, de acordo com as estimativas, 404,3 horas de operações por ano na atividade de *picking*, o que corresponde a mais de 25 dias de trabalho (considerando dias com 16 horas de operações). Este ganho, longe de ser desprezível em termos de custos de operação, tem como vantagem adicional de proporcionar um serviço ainda mais veloz para os clientes.

A pesquisa-ação elaborada ao longo deste estudo ajudou a preencher o vazio existente atualmente na literatura entre a teoria e a prática a respeito dos modelos de melhoria das operações nos CDs. Além disso, ela comprovou que modelos matemáticos de otimização podem levar a ganhos notáveis quando ajustados para se adequar a realidade prática.

6 Referências Bibliográficas

- ACKERMAN, K.B., 1990, *Practical handbook of warehousing*, VanNorstrand Reinhold, New York.
- BALLOU, R.H., 1992, *Business Logistics Management*. 3rd ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- BAKER, P., CANESSA, M., 2009, "Warehouse design: A structured approach", *European journal of operational research*, 193, 425-436.
- BARTHOLDI, J.J., HACKMAN, S.T., 2008, "Allocating space in a forward pick area of a distribution center for small parts", *IIE Transactions*, 40, 1046–1053.
- BARTHOLDI, J.J., HACKMAN, S.T., 2011, *Warehouse and distribution science*. Atlanta.
- BEAMON, B.M., 1998, "Supply chain design and analysis: Model and methods", *International journal of production economics*, 55, 281-294.
- BENBASAT, I., GOLDSTEIN, D.K., MEAD, M., 1987 "The case research strategy in studies of information systems", *MIS Quarterly*, Setembro 1987, pp. 369-86.
- BOZER, Y.A., 1985, "Optimizing throughput performance in designing order picking systems" PhD thesis, Department of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology.
- BRYDON-MILLER, M., GREENWOOD, D., MAGUIRE, P., 2003, "Why action research?", *Action research*, 1, 9-28.
- ELA/AT Kearney, 2004. Excellence in Logistics 2004. ELA, Brussel.
- ENGEL, G.I., 2000, "Pesquisa-ação", *Educar em revista*, 16, 181-191.
- FRAZELLE, E.H., 1996, *World-Class Warehousing*. Logistics Resources International, Atlanta.
- FRAZELLE, E.H., HACKMAN, S.T., PASSY, U., PLATZMAN, L.K., 1994. The forward-reserve problem. In: CIRIANI, T., LEACHMAN, R. (Eds.), *Optimization in Industry*, vol. 2. John Wiley & Sons, Chichester.
- GANESHAN, R., 1999, "Managing supply chain inventories: A multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model", *International journal of production economics*, 59, 341-354.
- GU, J., GOETSCHALCKX, M., MC GINNIS, L.F., 2007, "Research on warehouse

operation: A comprehensive review", *European journal of operational research*, 177, 1-21.

GU, J., GOETSCHALCKX, M., MC GINNIS, L.F., 2009, "Research on warehouse design and performance: A comprehensive review", *European journal of operational research*, 203, 539-349.

GU, J., GOETSCHALCKX, M., MC GINNIS, L.F., 2010, "Solving the forward-reserve allocation problem in warehouse order picking system", *Journal of the Operational Research Society*, 61, 1013-1021.

HACKMAN, S.T., PLATZMAN, L.K., 1990, "Near optimal solution of generalized resource allocation problem with large capacities", *Operations Research*, 38, 902-910.

HALL, R.W., 1993 "Distance approximation for routing manual pickers in a warehouse", *IIE Transactions*, 25, 77-87.

HWANG, H.S., CHO, G.S., 2006, "A performance evaluation model for order picking warehouse design", *Computers & industrial engineering*, 51, 335-342.

DE KOSTER, R., LE DUC, T., ROODBERGEN, K.J., 2007, "Design and control of warehouse order picking: A literature review", *European journal of operational research*, 182, 481-501.

PETERSEN, C.G., 1997, "An evaluation of order picking routing policies", *International journal of operations & production management*, v.17, n.11, pp. 1098-1111.

PETERSEN, C.G., 2000, "An evaluation of order picking policies for mail order companies", *Production and operations management*, v.9, n.4.

ROODBERGEN, K.J., 2001, "Layout and routing methods for warehouse", Ph.D. thesis, RSM Erasmus University, the Netherlands.

ROODBERGEN, K.J., DE KOSTER, R., 2001, "Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle", *European Journal Operational Research*, 133, 32-43.

ROUWENHORST, B., REUTER, B., STOCKRAHM, V., *et al.*, 2000, "Warehouse design and control: Framework and literature review", *European journal of operational research*, 122, 515-533.

TOMPKINS, J.A., WHITE, J.A., BOZER, Y.A. *et al.*, 2010, *Facilities Planning*, 4^a edição, John Wiley & Sons, New York.

VAN DEN BERG, J.P., SHARP, G.P., GADEMANN, A.J.R.M, *et al.*, 1998, "Forward-reserve allocation in a warehouse with unit-load replenishments", *European journal of operational research*, 111, 98-113.

VAN DEN BERG, J.P., ZIJM, W.H.M., 1999, "Model for warehouse management: Classification and examples", *International journal of production economics*, 59, 519-528.

WALTER, R., BOYSEN, N., SCHOLL, A., 2013, "The discrete forward-reserve problem – Allocating space, selecting products, and sizing in forward order picking", *European journal of operational research*, 229, 585-594.

WESTBROOK, R., 1995, "Action research: a new paradigm for research in production and operations management", *International Journal of Operations & Production Management*, 15(12), 6-20.