**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

LIVIA MARTINELLI TINELLI

Otimização do posicionamento de produtos acabados em armazéns inteligentes

São Carlos
2013

LIVIA MARTINELLI TINELLI

**OTIMIZAÇÃO DO POSICIONAMENTO DE PRODUTOS ACABADOS EM
ARMAZÉNS INTELIGENTES**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Dinâmica de Máquinas e
Sistemas.

Orientador: Prof. Marcelo Becker

ESTE EXEMPLAR TRATA-SE DA VERSÃO CORRIGIDA. A VERSÃO ORIGINAL ENCONTRA-SE DISPONÍVEL JUNTO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA EESC-SP
--

São Carlos
2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

T587o Tinelli, Livia Martinelli
Otimização do posicionamento de produtos acabados
em armazéns inteligentes / Livia Martinelli Tinelli;
orientador Marcelo Becker. São Carlos, 2013.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em
Dinâmica de Máquinas e Sistemas -- Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

1. Otimização. 2. Armazém inteligente. 3.
Posicionamento de produtos. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **LIVIA MARTINELLI TINELLI**.

Título da dissertação: "Otimização do posicionamento de produtos acabados em armazéns inteligentes".

Data da defesa: 08/03/2013

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Dr. **Marcelo Becker (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof. Dr. **Walther Azzolini Junior**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof. Associada **Roseli Aparecida Francelin Romero**
(Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação/USP)

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica:
Prof. Associado **Marcelo Areias Trindade**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio e compreensão; especialmente ao meu pai Livaldo, que me incentivou para a concretização desta importante etapa em minha vida; ao meu noivo Rafael por me apoiar em todas as minhas escolhas e estar presente em minhas conquistas; e as estrelas no céu que me iluminam.

AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador Dr. Marcelo Becker, pelo incentivo e orientação.

À M.Sc. Kelen Cristiane Teixeira Vivaldini, pela atenção, dedicação e pronto atendimento a todas as dúvidas.

Ao professor Walther Azzolini Junior pela partilha de conhecimentos.

Ao Grupo de Mecatrônica - EESC/USP e aos amigos do Laboratório de Robótica Móvel - LabRoM: Daniel Felipe de Oliveira, Flávia Schimphauser, Gabriel Tamashiro, Gustavo Alves Portero, Jorge Pablo Moraga Galdames, Kelen Cristiane Teixeira Vivaldini, Murilo Melhado Baldi, Nádia Junqueira Martarelli, entre outros, que foram de grande importância para que eu cumprisse esta etapa .

À secretária do Laboratório de Dinâmica Cristina Márcia M. Pessa e às funcionárias da Pós-graduação Ana Paula Bueno Bardelotti e Iara Alice de Oliveira, pelo auxílio e atenção.

Às amigas, Patricia Vilarta e Kelen Cristiane Teixeira Vivaldini sempre prontas a escutar-me.

À todos os funcionários e técnicos do Laboratório de Dinâmica e do Departamento de Engenharia Mecânica, que de alguma maneira contribuíram para a realização deste projeto.

Às bibliotecárias Elena L. Palloni Gonçalves e Juliana Vidal de Sá e à Angela Cristina Pregnolato Giampetro pelas considerações feitas nesta dissertação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela bolsa concedida.

“Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar; não apenas planejar, mas também acreditar.”

Anatole France

“Ouça os conselhos e esteja pronto para aprender, e assim um dia você será sábio.”

Provérbios 19;20

RESUMO

TINELLI, L. M. (2013). **Otimização do Posicionamento de Produtos Acabados em Armazéns Inteligentes. 138p.** Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

No cenário do mercado mundial as empresas para obter vantagem competitiva buscam reduzir os custos logísticos bem como agilizar o atendimento do pedido. Neste contexto é crescente a aplicação de ferramentas para uma eficiente gestão da armazenagem, a fim de garantir a melhor alocação dos produtos no armazém. O método da Curva ABC, baseado no princípio de Pareto classifica o portfólio da empresa obtendo assim a separação dos produtos em classes. Os itens da Classe A merecem maior atenção já que representam 80% da movimentação financeira da empresa. Já a ferramenta multicritério AHP possibilita a análise de vários critérios (demanda, movimentação financeira, sazonalidade, entre outros) para determinar qual a melhor alternativa para atender a meta principal. Este projeto tem como meta principal estabelecer a ferramenta/técnica que garantirá um posicionamento de produto otimizado, tem-se como alternativas a alocação baseada na classificação ABC e a alocação por meio da priorização dos produtos estabelecida pela hierarquia do AHP. A ferramenta/técnica foi implementada em linguagem C, realizou-se a simulação de 1620 tarefas de carregamento e descarregamento para alocação aleatória, ABC e AHP, para garantir o fluxo de entradas e saídas do armazém. Por meio da análise dos resultados tem-se que o sistema proposto é viável e eficiente já que garante a redução das distâncias percorridas e agiliza o tempo de atendimento ao pedido, implicando assim em redução dos custos logísticos. As reduções alcançadas com a alocação baseada no método ABC garantiu 8,42% para as distâncias percorridas e 8,43% no tempo de execução das tarefas para o descarregamento de caminhões. Com relação a aplicação da ferramenta multicritério para alocar itens no armazém obteve-se uma redução de 12,81% e 13,47% para distância percorrida e tempo total, respectivamente. Conclui-se que o projeto é de grande relevância para a área, pois garante um ótimo fluxo nas movimentações do armazém, já que reduz as movimentações desnecessárias e quanto maior o fluxo de entradas e saídas no armazém e número de tarefas a serem atendidas, as reduções se tornarão mais visíveis

Palavras-chaves: AHP, Curva ABC, otimização, posicionamento produtos.

ABSTRACT

TINELLI, L. M. (2013). **Product Positioning Optimization in Intelligent Warehouse. 138p.** Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

To obtain competitive advantages in the global market scenario, companies have aimed at reducing logistic costs as well as streamlining the order of fulfillment. In this context the use of tools to efficiently manage the storage, ensuring a best allocation of the products has been growing. The method of the ABC Curve, based on the Principle of Pareto qualifies the portfolio of a company so that products can be separated into classes. The items of Class A deserve special attention since they represent 80% of the financial transactions of a company. On the other hand, the AHP multicriteria tool enables the analysis of several criteria (demand, financial transaction, seasonality, among others) to determine the best alternative to achieve the main goal. The primary aim of this project is to establish a tool/technique to ensure the correct positioning of the products optimized by either the allocation based on the ABC classification or the allocation by prioritizing the products established by the AHP. The tool/technique was implemented in language C and 1,620 loading and unloading *tasks* were simulated for random allocation, ABC and AHP to ensure the flow of inputs and outputs from the storage. The results show that the system proposed is viable and efficient, as it shortens the distances traveled and streamlines the time of order of fulfillment, reducing the logistic costs. The reductions achieved with the allocations based on the ABC method ensure 8.42% for the traveled distances and 8.43% for the time spent to unload the trunks. The multicriteria tool allowed reductions of 12.81% and 13.47% in the traveled distances and time spent, respectively, to allocate the items into the storage. The project is of great relevance for the area, as it ensures an optimum flow in the movements of the storage, reducing the unnecessary movements.

Keywords: AHP, ABC Curve, optimization, products positioning.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Fluxograma das principais atividades envolvidas no processo de armazenagem..</i>	40
<i>Figura 2: AGV - Automated Guided Vehicle (Modelo Rocla ATX).....</i>	45
<i>Figura 3: Custos logísticos.....</i>	47
<i>Figura 4: Exemplo de demanda sazonal.....</i>	52
<i>Figura 5: Curva ABC e lei de Pareto ou Regra do 80/20</i>	56
<i>Figura 6: Decomposição de um problema em uma estrutura hierárquica</i>	62
<i>Figura 7: Curva ABC.....</i>	68
<i>Figura 8: Modelo 2D do Armazém utilizado nas simulações.....</i>	72
<i>Figura 9: Modelo 2D do Armazém utilizado nas simulações.....</i>	73
<i>Figura 10: Estrutura hierárquica para o problema de seleção da ferramenta/método a ser aplicado.</i>	75
<i>Figura 11: Áreas do armazém designadas para cada classe.</i>	82
<i>Figura 12: Layout armazém com as posições designadas para cada tipo de prioridade.</i>	83
<i>Figura 13: Sistema de Gerenciamento de AGV.....</i>	86
<i>Figura 14: Sistema Proposto</i>	87
<i>Figura 15: Teste alocação de produtos no armazém de maneira aleatória</i>	100
<i>Figura 16: Teste alocação de produtos no armazém baseado no ABC.....</i>	101
<i>Figura 17: Teste alocação de produtos no armazém utilizando o AHP.....</i>	101
<i>Figura 18: Teste II – Gráfico custo total das tarefas de descarregamento para as alocações propostas.....</i>	103
<i>Figura 19: Teste II – Gráfico tempo total das tarefas de descarregamento para as alocações propostas.....</i>	103
<i>Figura 20: Teste II – Gráfico custo total das tarefas de carregamento para as alocações propostas.....</i>	103
<i>Figura 21: Teste II – Gráfico tempo total das tarefas de carregamento para as alocações propostas.....</i>	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Escala fundamental de julgamento em grau de importância.....	63
Quadro 2: Valores de Índice Randômico conforme o número de elementos	65
Quadro 3: Matriz de comparação par a par entre os critérios de decisão	75
Quadro 4: Somatório das colunas da matriz de comparação par a par.....	76
Quadro 5: Normalização da matriz de comparação par a par	76
Quadro 6: Autovetor gerado da matriz de comparação par a par entre os critérios	76
Quadro 7: Valores de Índice Randômico conforme o número de elementos	78
Quadro 8: Matriz gerada da comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério demanda	78
Quadro 9: Matriz gerada da comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério movimentação financeira	78
Quadro 10: Matriz gerada da comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério sazonalidade	79
Quadro 11: Somatório das colunas da matriz referente à comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério demanda.....	79
Quadro 12: Normalização da matriz referente à comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério demanda.....	79
Quadro 13: Autovetor referente à matriz de comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério demanda.....	79
Quadro 14: Somatório das colunas da matriz referente à comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério movimentação financeira.....	79
Quadro 15: Normalização da matriz referente à comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério movimentação financeira.....	79
Quadro 16: Autovetor referente à matriz de comparação par a par entre as alternativa decisão com relação ao critério movimentação financeira.....	80

Quadro 17: Somatório das colunas da matriz referente à comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério sazonalidade.....	80
Quadro 18: Normalização da matriz referente à comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério sazonalidade.....	80
Quadro 19: Autovetor referente à matriz de comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério sazonalidade.....	80
Quadro 20: Teste I - Relação tarefa de descarregamento com a posição atual (doca) e posição final (prateleira) para alocação aleatória, ABC e AHP	89
Quadro 21: Teste I - Relação custo total para cada tarefa de descarregamento com alocação aleatória, ABC e AHP.....	90
Quadro 22: Teste I - Relação tempo total para cada tarefa de descarregamento com alocação aleatória, ABC e AHP.....	92
Quadro 23: Teste I - Dados custo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe A	94
Quadro 24: Teste I - Somatório dos dados custo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe A	94
Quadro 25: Teste I - Dados tempo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe A	94
Quadro 26: Teste I - Somatório dos dados tempo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe A	94
Quadro 27: Teste I - Dados custo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe B.....	95
Quadro 28: Teste I - Somatório dos dados custo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe B	95
Quadro 29: Teste I - Dados tempo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe B.....	95
Quadro 30: Teste I - Somatório dos dados tempo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe B	96
Quadro 31: Teste I - Dados custo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe C.....	96
Quadro 32: Teste I - Somatório dos dados custo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe C	96

Quadro 33: Teste I - Dados tempo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe C	97
Quadro 34: Teste I - Somatório dos dados tempo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe C	97
Quadro 35: Teste I - Somatório da redução/acrécimo para custo total por classe.....	99
Quadro 36: Teste I - Somatório da redução/acrécimo para tempo total por classe.....	99
Quadro 37: Teste I - Somatório da redução/acrécimo para custo total.....	100
Quadro 38: Teste I - Somatório da redução/acrécimo para tempo total.....	100
Quadro 39: Teste II - Somatório da otimização para alocação aleatória, ABC e AHP	102
Quadro 40: Teste I - Relação portfólio analisado	121
Quadro 41: Teste I - Relação portfólio classificado	121
Quadro 42: Teste I - Relação portfólio classificado por classes.	122
Quadro 43 Teste I - Relação portfólio para o AHP	122
Quadro 44: Teste II - Comparação entre a alocação de descarregamento aleatória e ABC para custo total.....	125
Quadro 45: Teste II - Comparação geral entre a alocação de descarregamento aleatória e ABC para custo total.....	125
Quadro 46: Teste II - Relação resultado de cada Tarefa de descarregamento, se obteve otimização em relação as distâncias percorridas	125
Quadro 47: Teste II - Comparação entre a alocação de descarregamento aleatória e ABC para tempo total.....	126
Quadro 48: Teste II - Comparação geral entre a alocação de descarregamento aleatória e ABC para tempo total.....	126
Quadro 49: Teste II - Relação resultado de cada tarefa de descarregamento, se obteve otimização em relação ao tempo de execução.....	126
Quadro 50: Teste II - Comparação entre a alocação para carregamento aleatória e ABC para custo total.....	127
Quadro 51: Teste II - Comparação geral entre a alocação de carregamento aleatória e ABC para custo total	127

Quadro 52: Teste II - Relação resultado de cada Tarefa de carregamento, se obteve otimização em relação às distâncias percorridas	127
Quadro 53: Teste II - Comparação entre a alocação de carregamento aleatória e ABC para tempo total	128
Quadro 54: Teste II - Comparação geral entre a alocação de carregamento aleatória e ABC para tempo total	128
Quadro 55: Teste II - Relação resultado de cada Tarefa de carregamento, se obteve otimização em relação ao tempo de execução	128
Quadro 56: Teste II - Comparação entre a alocação de descarregamento aleatória e AHP para custo total	129
Quadro 57: Teste II - Comparação geral entre a alocação de descarregamento aleatória e AHP para custo total	129
Quadro 58: Teste II - Relação resultado de cada Tarefa de descarregamento, se obteve otimização em relação as distâncias percorridas	129
Quadro 59: Teste II - Comparação entre a alocação de descarregamento aleatória e AHP para tempo total	130
Quadro 60: Teste II - Comparação geral entre a alocação de descarregamento aleatória e AHP para tempo total	130
Quadro 61: Teste II - Relação resultado de cada Tarefa de descarregamento, se obteve otimização em relação ao tempo de execução	130
Quadro 62: Teste II - Comparação entre a alocação de carregamento aleatória e AHP para custo total	131
Quadro 63: Teste II - Comparação geral entre a alocação de carregamento aleatória e AHP para custo total	131
Quadro 64: Teste II - Relação resultado de cada Tarefa de carregamento, se obteve otimização em relação as distâncias percorrida	131
Quadro 65: Teste II - Comparação entre a alocação de carregamento aleatória e AHP para tempo total	132
Quadro 66: Teste II - Comparação geral entre a alocação de carregamento aleatória e AHP para tempo total	132
Quadro 67: Teste II - Relação resultado de cada Tarefa de carregamento, se obteve otimização em relação ao tempo de execução	132

Quadro 68: Teste II - Comparação entre a alocação de descarregamento ABC e AHP para custo total.....	133
Quadro 69: Teste II - Comparação geral entre a alocação de descarregamento ABC e AHP para custo total	133
Quadro 70: Teste II - Relação resultado de cada tarefa de descarregamento, se obteve otimização em relação as distâncias percorridas	133
Quadro 71: Teste II - Comparação entre a alocação de descarregamento ABC e AHP para tempo total.....	134
Quadro 72: Teste II - Comparação geral entre a alocação de descarregamento ABC e AHP	134
Quadro 73: Teste II - Relação resultado de cada tarefa de descarregamento, se obteve otimização em relação ao tempo de execução.....	134
Quadro 74: Teste II - Comparação entre a alocação de carregamento ABC e AHP para custo total	135
<i>Quadro 75: Teste II - Comparação geral entre a alocação de carregamento ABC e AHP para custo total</i>	<i>135</i>
<i>Quadro 76: Teste II - Relação resultado de cada tarefa de carregamento, se obteve otimização em relação as distâncias percorridas.....</i>	<i>135</i>
<i>Quadro 77: Teste II - Comparação entre a alocação de carregamento ABC e AHP para tempo total.....</i>	<i>136</i>
<i>Quadro 78: Teste II - Comparação geral entre a alocação de carregamento ABC e AHP para tempo total.....</i>	<i>136</i>
<i>Quadro 79: Teste II - Relação resultado de cada tarefa de carregamento, se obteve otimização em relação ao tempo de execução</i>	<i>136</i>

LISTA DE SIGLAS

AGVs	<i>Automated Guided Vehicles</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
CLM	<i>Council of Logistic Management</i>
CSCMP	<i>Council of Supply Chain Management Professionals</i>
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EDI	<i>Electronic Data Interchange</i>
FIFO	<i>First In First Out</i>
IP	<i>Product Information</i>
II	<i>Item Information</i>
JIT	<i>Just In Time</i>
NI	<i>No Information</i>
LabRoM	Laboratório de Robótica Móvel
LIFO	<i>Last In First Out</i>
USP	Universidade de São Paulo
SKU	<i>Stock Keeping Unit</i>
SLAP	<i>Storage Location Assignment Problem</i>
VMI	<i>Vendor Managed Inventor</i>
WMS	<i>Warehouse Management Systems</i>

SUMÁRIO

Capítulo 1	35
INTRODUÇÃO.....	35
1.1. MOTIVAÇÃO.....	35
1.2. OBJETIVO	37
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	38
Capítulo 2	39
CONTEXTUALIZAÇÃO	39
2.1. GESTÃO DA ARMAZENAGEM	39
2.2. TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO.....	41
2.3. MANUSEIO DE MATERIAIS	42
2.4. LAYOUT	46
2.5. CUSTOS LOGÍSTICOS.....	46
2.6. REDUÇÃO DE DISTÂNCIAS DE MOVIMENTAÇÃO	47
2.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
Capítulo 3	51
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	51
3.1. SAZONALIDADE	51
3.2. PREVISÃO DA DEMANDA.....	53
3.3. OTIMIZAÇÃO DO POSICIONAMENTO DE PRODUTOS	55
3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
Capítulo 4	61
METODOLOGIA.....	61
4.1. FERRAMENTA MULTICRITÉRIO AHP PARA ESTABELECER O CRITÉRIO PARA ALOCAÇÃO	61
4.1.1. ESTRUTURAÇÃO AHP	63
4.1.2. AHP PARA ALOCAÇÃO DE PRODUTOS	66
4.2. MÉTODO CURVA ABC	67
4.2.1. ABC PARA ALOCAÇÃO DE PRODUTOS.....	68
4.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
Capítulo 5	71
APLICAÇÃO DOS MÉTODOS	71

5.1.	LAYOUT DO ARMAZÉM	71
5.2	AHP PARA DETERMINAÇÃO DE CRITÉRIO	74
5.2.1.	AVALIAÇÃO PARA OS CRITÉRIOS.....	75
5.2.2.	AVALIAÇÃO PARA AS ALTERNATIVAS DE DECISÃO	78
5.3.	ABC PARA ALOCAÇÃO DE PRODUTOS	81
5.4.	AHP PARA ALOCAÇÃO DE PRODUTOS.....	83
5.5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
Capítulo 6.....		85
RESULTADOS E DISCUSSÃO		85
6.1.	SIMULAÇÕES	85
6.2.	TESTE I.....	87
6.3.	TESTE II	102
6.4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	104
CONCLUSÕES		107
REFERÊNCIAS.....		109
APÊNDICE 1 - DADOS PORTFÓLIO		119
APÊNDICE 2 - RESULTADOS TESTE II.....		123

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada a motivação para o desenvolvimento deste trabalho e a sua relevância no contexto atual de negócios logísticos, os objetivos deste trabalho, descrevendo a proposta e as contribuições oferecidas. Em seguida, é descrita a organização dos capítulos desta dissertação.

1.1. MOTIVAÇÃO

Dado o cenário mundial de competitividade e diferentes graus de economia no mercado globalizado, as empresas como alternativa para se manterem no mercado buscam a melhoria contínua para atenuarem as diferenças mercadológicas. A gestão da armazenagem, adotada como fator de elevada importância no contexto empresarial, pode apresentar-se como um elemento de preponderância estratégica. E se realizada de forma eficiente, buscando a redução de custos, de tempos de movimentação e agilidade no atendimento ao pedido e adotando ferramentas capazes de apoiar a decisão logística, é capaz de trazer inúmeros benefícios à empresa (OLIVEIRA *et al.* 2011).

Segundo *Council of Logistic Management* - CLM (1996), o conceito de logística pode ser definido como sendo o “processo de planejar, implementar e controlar a eficiência, o fluxo e armazenagem de mercadorias, serviços e informações correlatas, do ponto de origem ao ponto de consumo, com o objetivo de atender às exigências dos clientes”.

Neste contexto, a logística é um fator que pode ser usado como estratégia para uma organização. De acordo com Bowersox, Closs e Cooper (2007), a logística representa uma fonte de vantagem competitiva devido à sua gestão de forma integrada. Desta forma, as

empresas buscam a vantagem competitiva como meio para manter ou obter destaque no mercado devido ao dinamismo da economia mundial.

Para obter essa vantagem competitiva, as empresas estão recorrendo aos sistemas integrados de informação, buscando automatizar seus processos produtivos utilizando algumas tecnologias do tipo: *Electronic Data Interchange* (EDI), o *Warehouse Management System* (WMS), tecnologia de código de barras e o *Vendor Managed Inventor* (VMI). Esses sistemas logísticos auxiliam no controle do fluxo de informações da empresa. Especificamente o WMS agiliza o fluxo de informações do armazém, melhorando a operacionalidade da armazenagem e promovendo a otimização do processo através de um gerenciamento eficiente de informações e recursos, permitindo à empresa tirar o máximo proveito dessa atividade padronizando os procedimentos de trabalho e estimulando as melhores práticas logísticas (WERC, 2003; TINELLI, 2010).

Armazéns são um componente essencial de qualquer cadeia de abastecimento. Suas principais funções são: tamponamento do fluxo de materiais ao longo da cadeia de abastecimento para acomodar a variabilidade causada por fatores como a sazonalidade do produto e / ou lotes de produção e transporte, consolidação de produtos de vários fornecedores para distribuição combinada de clientes, e de valor agregado de processamento tais como *kits*, preços, rotulagem, e personalização de produtos (PORTER, 1986).

Neste contexto, a otimização operacional é alcançada pela correta designação da posição do item dentro do armazém com o objetivo de reduzir as distâncias percorridas durante todo o processo de movimentação. Por outro lado, certos produtos carecem de uma distribuição eficiente por motivos econômicos como também de segurança (CSCMP, 2010). Os efeitos da infraestrutura sobre as condições gerais de eficiência da economia são bastante evidentes. A disponibilidade de uma infraestrutura adequada potencializa ganhos de eficiência ao sistema produtivo, bem como, o aumento do valor agregado ao mesmo tempo em que reduz o custo por unidade de insumo.

São comuns estudos que consideram somente a posição fixa dos itens dentro do sistema de armazenagem e apenas investigam a melhor rota de coleta para atender solicitações das demandas (KLIMM *et al.* 2007; OLMÍ, SECCHI e FANTUZZI, 2008; RAVIZZA, 2009; VIVALDINI, 2010) mostrando a necessidade de uma pesquisa abrangente e continua na área. Pesquisas recentes mostram que a otimização das operações em armazéns referente a recursos representa uma grande melhoria nos processos logísticos da empresa (BAKER e CANESSA, 2009; GU, GOETSCHALCKX e MCGINNIS, 2007; MOUNTZ, 2010; ZHANGA e LAIB, 2010).

Neste cenário, a automação de armazéns visa tanto reduzir os custos logísticos e níveis de estoque, como obter maior agilidade no atendimento ao cliente, criar diferencial competitivo e um melhor acompanhamento da produtividade do armazém. Alguns setores da economia apresentam um aquecimento/desaquecimento das vendas em determinadas épocas do ano, isso se deve às mudanças climáticas, datas comemorativas ou situação econômica mundial. Para que a empresa obtenha um ótimo desempenho em relação ao manuseio do estoque de produtos acabados, a mesma deve atentar-se a esta demanda sazonal. A sazonalidade é definida por Wallis e Thomas (1971) por um conjunto de flutuações que podem ou não apresentar regularidade em períodos máximo de um ano. Esses dados podem ser obtidos por meio de levantamento de vendas referentes aos anos anteriores e pesquisas mercadológicas.

Pesquisas recentes mostram que a otimização das operações em armazéns representa uma grande melhoria nos processos logísticos da empresa (QUEIROZ e CAVALHEIRO, 2003). Um número relevante de pesquisas apoiam a otimização da armazenagem como fator competitivo (GROSSMANN, 2005; VARMA *et al.*, 2007; SARKER e DIPONEGORO, 2009; SOUSA, SHAH e PAPAGEORGIOU, 2008; YOU e GROSSMANN, 2008).

1.2. OBJETIVO

Neste contexto, esta dissertação tem o objetivo geral de implementar um sistema para a otimização na designação da posição de itens levando em consideração a movimentação financeira dos produtos visando à redução de distâncias a serem percorridas durante o processo de manuseio de materiais. Este sistema proverá melhorias na agilidade de todo processo operacional, possibilitando um funcionamento eficiente dos postos de armazenagem por meio da disponibilização correta dos produtos acabados, onde os itens com maior giro/movimentação financeira ou maior densidade fiquem mais próximos da área de expedição reduzindo custos com deslocamentos desnecessários.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Neste capítulo foram apresentadas as motivações e os objetivos, descrevendo a proposta e as contribuições do trabalho. No capítulo 2, é apresentada uma contextualização referente à gestão da armazenagem e suas características, bem como sobre a redução dos custos logísticos. No Capítulo 3, é apresentada a revisão bibliográfica referente à sazonalidade, previsão de demanda e técnicas para obter a otimização do posicionamento de produtos. O Capítulo 4, a metodologia adotada, Método da Curva ABC e ferramenta multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*) são apresentados. No capítulo 5, são descritas a aplicação dos métodos, a ferramenta multicritério, o *layout* adotado e a designação das posições no armazém para ABC e AHP, bem como as hipóteses consideradas para os testes. No Capítulo 6, são apresentados os resultados obtidos na aplicação dos métodos/ferramentas, e as simulações de fluxo de entradas e saídas no armazém. E posteriormente são apresentadas as conclusões, bem como propostas para continuidade desta pesquisa.

Capítulo 2

CONTEXTUALIZAÇÃO

Uma área de grande relevância para o setor de gestão de operações é a logística interna, que abrange, entre outras coisas, a área de armazenamento, deslocamentos de bens de consumo, bem como informações gerenciais. A mesma é passível de melhorias, já que garantirá um ótimo fluxo de materiais no ambiente e obterá redução dos custos logísticos. Ballou (1993) afirma que o planejamento da logística interna corresponde a um grande diferencial na competitividade entre as empresas, dado que esse planejamento está diretamente relacionado aos custos. Assim, a armazenagem e o manuseio de materiais tornam-se componentes essenciais ao conjunto das atividades logísticas. Assim, neste capítulo é apresentada uma breve introdução sobre os conceitos referentes à gestão da armazenagem, tais como: tecnologia da informação, manuseio de materiais, *layout* custos logísticos e processamento das variações de demanda.

2.1. GESTÃO DA ARMAZENAGEM

A gestão de armazenagem visa controlar todas as tarefas referentes ao fluxo de materiais, bem como de informações do armazém. Gu, Goetschalckx e McGinnis (2005) apresentam que as principais atividades desenvolvidas no processo de armazenagem são: receber os produtos, realizar o armazenamento, recuperá-los (de modo a prepará-los para a expedição) e despachá-los. A Figura 1 ilustra o fluxograma dessas atividades no armazém.

Figura 1: Fluxograma das principais atividades envolvidas no processo de armazenagem

Fonte: Adaptado de Gu et al. (2007).

Este fluxo ocorre no ambiente de armazenagem, estes produtos armazenados são denominados como estoque.

Ballou (2007) apresenta quatro razões básicas para a utilização de estoques:

- Reduzir os custos de transporte e produção: apesar do estoque apresentar despesas adicionais, minimiza alguns custos a partir do aumento da eficiência no transporte e produção;
- Coordenar oferta e demanda: empresas com produção constante e alta variabilidade de demanda precisam suprir a necessidade imediata dos clientes, que pode surgir em momento inoportuno;
- Assessorar no processo de produção: alguns produtos necessitam ser guardados durante o processo produtivo; algumas bebidas alcoólicas, por exemplo, necessitam de tempo de envelhecimento;
- Colaborar no processo de comercialização: a construção de estoques em locais próximos (centros de distribuição) aos clientes reduz os tempos de entrega, melhorando a qualidade do serviço ao consumidor.

Uma gestão eficiente da armazenagem do estoque pode garantir maior competitividade e lucratividade. O tipo de estoque que será abordado neste trabalho é a armazenagem de produtos acabados. Desta forma, para gerenciar com efetividade e agilidade a gestão de armazenagem torna-se crucial a aplicação de Sistemas de Informação, já que o mesmo garantirá agilidade e confiabilidade no processamento da informação.

No ambiente empresarial, diversas indústrias armazenam seus produtos acabados, seja em centros de distribuição ou mesmo no próprio prédio de manufatura. A armazenagem pode ocorrer de três formas, sendo a primeira a mais simplista baseada na memória do operador. A segunda maneira baseia-se em posições fixas para cada produto, apresentando fácil

localização do item no armazém (BALLOU 1995). Ambas não utilizam sistemas de informação, devido a isso somente um ou alguns operadores logísticos saberão encontrar determinado produto no armazém e não adequam-se a variações de demanda (MOURA 1997). A terceira maneira é o posicionamento aleatório, que disponibiliza todas as posições de armazenagem para todos os produtos, sendo assim, necessária a integração de um sistema de informação para gerenciar a localização dos produtos acabados (MOURA 1997; ARNOLD 1999; DIAS 1993).

Uma nova maneira de gerenciar o posicionamento de produtos acabados em armazéns é a que mais se adequa ao cenário empresarial atual, já que garante agilidade e confiabilidade, pois ocorre por meio da integração de ferramentas para posicionar adequadamente os itens no armazém e o WMS. Desta forma, garantirá um ótimo fluxo no manuseio de materiais e redução das distâncias e tempo de atendimento ao pedido.

2.2. TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

Nas últimas décadas o mundo empresarial vem enfrentando desafios decorrentes da mudança da Era Industrial para a Era da Informação. Esta mudança foi em grande parte liderada pelos avanços acelerados na área de Tecnologia da Informação (TI) (OLIVEIRA e PALETTA, 2010). Na área de logística, uma rápida evolução implica em profundas mudanças, onde informações rápidas e precisas tornam-se decisivas para a eficácia dos sistemas logísticos (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2000; MURPHY, 2002). Neste contexto, a TI vem assumindo um papel importante no aumento da competitividade logística baseado na otimização do tempo, onde a logística aparece como fator essencial em nível estratégico, tático e operacional, e os sistemas de informações logísticos buscam viabilizar soluções completas e integradas para a plena gestão da cadeia logística (BOWERSOX e CLOSS, 2001).

Nogueira (2009) ao relacionar a TI com os processos logísticos mostra que atualmente existem diversas opções de TI disponíveis às empresas. Considerando que o gerenciamento de estoques requer uma sistematização completa dos itens para realizar um controle efetivo, torna-se necessária a utilização de *softwares* que auxiliem os gerentes logísticos. Oliveira *et al.* (2011) ressaltam sobre a influência da TI no sucesso empresarial e mostram que a busca por ferramentas computacionais é praticada continuamente em pesquisas científicas (GOMES

e RIBEIRO 2004; NOGUEIRA 2009; OLIVEIRA e PALETTA, 2010; OLIVEIRA, TINELLI e BECKER, 2010; VERÍSSIMO e MUSSETI, 2009; CARVALHO, 2010a, 2010b). e em centros de desenvolvimento de tecnologias.

Ribeiro, Silva e Benvenuto (2006) afirmam que o WMS é a principal ferramenta computacional disponível para o gerenciamento de armazéns, sendo adequada para ser utilizada rotineiramente em sistemas logísticos, pois permite redução de custos como de mão de obra e organiza melhor os fluxos de produtos e informações, agilizando as operações. Segundo Banzato (2004), o WMS permite o gerenciamento eficiente das informações e tarefas com alto nível de controle e acuracidade do inventário.

O WMS é um sistema de gerenciamento por *software* que otimiza as operações do armazém, por meio do eficiente gerenciamento de informações e conclusão de tarefas, apresentando um alto nível de controle. Permitindo administrar e rastrear todos os processos de movimentação de mercadorias, desde o recebimento, armazenagem, separação e expedição, minimizando gargalos e gerenciando a alocação de recursos humanos e equipamentos de manuseio (CUTTI, 2009). Segundo Jahn, Cervelli e Cunha (1999), a produtividade de um armazém poderá aumentar de 20% a 60% com a adoção de um sistema de gerenciamento.

2.3. MANUSEIO DE MATERIAIS

O manuseio de materiais referente à logística interna ocorre dentro do armazém, realizando um fluxo de entrada, armazenamento e saída dos produtos. Onde a movimentação e o manuseio de materiais demandam tempo, mão de obra e dinheiro. Assim, é preciso minimizá-los, a fim de não realizar movimentos desnecessários, e consequentemente reduzir o tempo de atendimento ao pedido, bem como desgaste dos equipamentos de manuseio de materiais.

Segundo Moura (2005), estima-se que a movimentação de materiais representa entre 15% e 20% do custo total de um produto fabricado, sendo um dos pontos passíveis para redução de custo. A oportunidade de reduzir a intensidade da mão de obra e movimentação para aumentar produtividade do fluxo do armazém reside nas novas tecnologias de movimentação e manuseio de materiais que estão emergindo atualmente.

Como citada anteriormente, a movimentação dos materiais dentro do armazém pode ter plena eficiência da armazenagem. Onde os produtos estocados podem requerer cuidados na movimentação, seja por serem frágeis, muito grandes, pesados ou por possuírem qualquer outro atributo que exija procedimentos especiais. Assim, um modo de se buscar a eficiência logística consiste em se determinar adequadamente os equipamentos utilizados para as movimentações. O tipo de equipamento utilizado na movimentação de materiais afeta a eficiência e o custo de operação do armazém. Da mesma forma, não apenas os equipamentos de movimentação, mas também os da armazenagem em si, por estarem constantemente em contato com os produtos, requerem adequação.

Paletta e Silva (2003) citam a importância da escolha de embalagens que sejam as mais adequadas para o tipo de produto que se trabalha. Além disso, a determinação de paletes ou prateleiras, caso utilizados, também deve ser adequada.

Moura (1997), por outro lado, levanta diferentes tipos de equipamentos que podem ser utilizados na movimentação dos itens, sendo cada um indicado para ser utilizado seguindo certas características próprias do *layout* e dos produtos, tais como, veículos industriais, equipamentos para elevação e transferência e transportadores contínuos classificam os diferentes equipamentos existentes, facilitando a escolha por parte do gerente logístico. Além disso, Paletta e Silva (2003) afirmam que a operação eficiente do armazém pode ser alcançada com a escolha de equipamentos simples e não onerosos, mas eficazes.

A escolha do melhor equipamento depende de muitas variáveis, como custo, tipo de produto a ser manuseado, necessidade ou não de mão de obra especializada, espaço disponível, entre outros. Métodos e equipamentos de movimentação interna ineficientes podem acarretar em altos custos devido à repetição de atividades e o tempo gasto na tarefa de manuseio. Assim, a utilização adequada dos recursos contribui para o aumento da capacidade produtiva (VIVALDINI, 2012).

Um fator frequentemente negligenciado é que a movimentação manual pode ser, na verdade a mais fácil, a mais eficiente e o método menos dispendioso de movimentar o material. Somente depois de provado que o manuseio manual é mais caro, perigoso ou muito lento, é que a atenção se volta para os equipamentos (MOURA, 1992).

Assim, o aumento da eficiência no manuseio de materiais torna-se fundamental para o aumento da produtividade relacionada à logística e à distribuição de bens, por diversas razões. Primeiro, uma quantidade significativa de horas de trabalho é dedicada ao manuseio de materiais. Segundo, grande parte das atividades de manuseio de materiais envolve mão de obra, o que impõe dificuldades ao emprego de sistemas de monitoramento e controle baseados

uso de computadores, portanto, este tipo de atividade não tira vantagens dos benefícios proporcionados pelas melhorias constantes advindas da automação. Estas dificuldades podem ser estendidas conseqüentemente, ao gerenciamento, à integração das atividades de manipulação e ao sistema de logística. E finalmente, a tecnologia de automação, como consequência da sua capacidade para reduzir o trabalho na manipulação de materiais, representa uma forma viável para aumentar a competitividade e a eficácia de todo o processo (VIVALDINI, 2010).

Segundo Bowersox, Closs e Cooper (2007) os sistemas de manuseio são classificados em: mecanizados, semi-automatizados, automatizados e orientados pela informação. Sistemas mecanizados são compostos de mão de obra e equipamentos de manuseio, facilitando a operação de recebimento, processamento e expedição. Como a mão de obra representa grande parcela no custo geral do manuseio mecanizado, os sistemas automatizados visam minimizar a mão de obra, para assim investir o capital em equipamentos de manuseio. Já a combinação de sistemas mecanizados e automatizados é designada como sistemas semi-automatizados. O sistema orientado pela informação consiste na aplicação da TI para direcionar os equipamentos de manuseio mecanizados e os esforços de trabalho. Sendo assim, no cenário empresarial atual, é comum a aplicação de sistemas mecanizados, porém o emprego de sistemas semi-automatizados, automatizados e orientados pela informação apresentam crescente aplicação. Deve-se salientar que essas aplicações são uma tendência mundial, devido ao processo de globalização.

Segundo Stümer (2004), os armazéns são pouco flexíveis, dado que existem regras rígidas de movimentação e controle, onde grandes alterações no processo e na infraestrutura, tanto interna quanto externa, não são bem aceitas. O apelo da automação é que ela substitui a mão de obra humana por equipamentos automatizados. Além de exigir menos mão de obra direta, um sistema automatizado tem o potencial para funcionar com mais agilidade e precisão do que seu equivalente mecanizado, eliminando situações que poderiam colocar em risco a vida de funcionários, e também onde as tarefas de armazenamento ocorrem em ambientes hostis para a atividade humana (áreas de muito ruído, de materiais perigosos e de operações sob temperaturas extremas) (VIVALDINI, 2012).

Desta forma a automação dos sistemas logísticos mostra-se essencial para a melhoria da produtividade. De acordo com Beker, Jevtić e Dobrilović (2012) a automação remete a redução de custos, especificamente na eliminação do desperdício do transporte interno.

A automação de um armazém, segundo Rowley (2000) é definida como o controle direto de manipular o movimento dos equipamentos de manuseio de materiais para movimentar e armazenar produtos sem a necessidade de operadores diretos.

Com frequência, sistemas de logística automatizados, como, por exemplo, indústrias, armazéns e terminais de contêineres utilizam AGVs (*Automated Guided Vehicles*) (Figura 2) para otimizar os sistemas de produção nas tarefas de transporte e também como alternativa para solucionar os problemas citados anteriormente (VIVALDINI, 2012).

Figura 2: AGV - Automated Guided Vehicle (Modelo Rocla ATX)
Fonte: <http://www.rocla.com/productlist.asp?Section=477> (ROCLA, 2012)

Segundo Vivaldini (2012), os AGVs estão entre as classes de equipamentos na indústria de manuseio de material que mais rapidamente crescem em quantidade de equipamentos instalados e tem se tornado uma ferramenta comum para estas atividades. Este tipo de equipamento é capaz de responder prontamente aos padrões de transporte que mudam frequentemente, e eles podem ser integrados totalmente sistemas de controle inteligentes automatizados. AGVs estão sendo cada vez mais utilizados para a transferência de material de uma vasta área de aplicações na área de distribuição em logística. A finalidade é aumentar a eficiência na transferência de material e aumentar a produtividade.

O *layout* tem grande importância para que os equipamentos de manuseio de materiais possam designar corretamente suas funções, ou seja, o equipamento somente será eficiente aliado à necessidade da empresa e atuando em um ambiente favorável.

2.4. LAYOUT

Paletta e Silva (2003) definem *layout* como a disposição de recursos da produção e sua interação em um espaço delimitado. O *layout* do armazém demonstra sua importância para a eficiência logística ao ser apresentado por Moura (2002) como um grande fator para a determinação de um ótimo fluxo de materiais, proporcionando uma redução dos custos nas operações de estocagem e coleta, uma eficiente utilização do espaço de armazenagem e ainda garantindo a agilidade no atendimento de pedidos.

Aliado a isso, o planejamento físico adequado da armazenagem gera uma distribuição equilibrada nas áreas e instalações, e pode evitar o retrocesso no fluxo dos materiais, permitindo a redução de custos (GOUVINHAS *et al.*, 2005).

Uma proposta para a redução de custos de movimentação no armazém é a disposição dos espaços de armazenagem com base em um corredor central, que visa reduzir as distâncias em relação aos demais corredores (ASKIN e STANDRIDGE, 1993). Em adição a isso, o estudo proposto por Roodbergen e Koster (2001) mostra que a utilização dos corredores centrais poderá reduzir significativamente as distâncias percorridas para situações em que são empregadas técnicas de roteamento para coletas e movimentação de produtos dentro do armazém. Como esta dissertação não atuará na linha de estudo de *layout*, uma alternativa para alcançar a redução de distâncias percorridas é a proposta de aplicar ferramentas para classificar os itens, e assim alocá-los de maneira otimizada no armazém.

2.5. CUSTOS LOGÍSTICOS

Os custos logísticos em uma empresa do setor de manufatura podem ser divididos em: embalagem, processamento de dados, administração logística, transporte, armazenagem e estoque nas seguintes proporções (PARADA NETO, 2010), como mostra a Figura 3.

Figura 3: Custos logísticos
Fonte: Adaptado de Parada Neto (2010)

Com a análise do gráfico percebe-se a necessidade de uma otimização em estoque e armazenagem, pois ambos totalizam 53% dos custos logísticos. Existem algumas formas para redução desta parcela dos custos logísticos, tais como: redução da área de armazenagem, operar com estoques mínimos ou políticas de estocagem (*Just in Time*, FIFO e LIFO) (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002). A gestão de estoques pode-se basear nas flutuações da demanda, ou seja, na sazonalidade, garantido com esta análise a almejada redução dos custos.

Neste contexto, o correto posicionamento dos produtos acabados visa atingir a otimização dos custos com armazenagem, bem como os custos referentes à manutenção de equipamentos de manuseio de materiais. Em adição a isso, tem-se o fato de que a otimização do posicionamento dos produtos acabados é defendida por diversos autores (ATAMANCZUK, 2009; FREITAS *et al.*, 2006; GOUVINHAS *et al.*, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2011), pois com a otimização do posicionamento de produtos chega-se a um arranjo ótimo, obtendo assim, um melhor fluxo no armazém, redução das rotas a serem percorridas entre armazém e expedição do produto e redução do tempo de atendimento ao pedido.

2.6. REDUÇÃO DE DISTÂNCIAS DE MOVIMENTAÇÃO

Além da determinação do *layout* mais adequado ao sistema logístico, a definição da localização do produto manufaturado no armazém irá determinar a distância percorrida

durante o trajeto efetuado para que o mesmo chegue à área de expedição. Analogamente, ao se posicionar os produtos mais pesados, ou mais frágeis, em locais mais próximos à expedição busca-se reduzir os esforços de movimentação, bem como, desgaste prematuro dos equipamentos de manuseio. Dessa forma, ao se alocar os produtos que possuem maior fluxo de movimentação/demanda dentro do armazém em locais próximos à área de expedição, reduz-se a movimentação total (OLIVEIRA, TINELLI e BECKER, 2010).

Gu, Goetschalckx e McGinnis (2007) apresentam o Problema de Designação da Localização de Estocagem (*Storage Location Assignment Problem - SLAP*) como a busca pela designação do local físico onde cada item deverá ser armazenado, visando reduzir os custos de manuseio de materiais e melhorar a utilização do espaço.

O objetivo do SLAP é determinar em qual área/prateleira armazenar os itens de produtos recebidos, de modo que o custo operacional total seja minimizado, reduzindo os custos de movimentação de materiais e melhorando a utilização do espaço (GU, GOETSCHALCKX e MCGINNIS, 2007; XU, *et al.*, 2008). Segundo, Carlo e Giraldo (2010), o SLAP pode ser classificados de acordo com as informações fornecidas sobre a chegada e saída dos produtos armazenados no armazém, sendo classificadas em três tipos, baseados em:

- informações do item (SLAP / II): neste caso as informações sobre chegada e saída do item ao armazém são fornecidas, não levando em consideração características específicas no item, como o código ou tipo de item;
- informações do produto (SLAP / PI): para esta classificação, sabe-se dados sobre o produtos, tais como, código, lote, valor unitário, entre outros. Sendo assim realizada a atribuição de classes aos produtos. Os produtos serão armazenados, de acordo, com áreas pré-estabelecidas para determinada classe;
- nenhuma informação (SLAP / NI): não existe relação de armazenamento com o item/produto, já que nenhuma informação das classificações acima é levada em consideração. Neste caso, o armazenamento ocorre de maneira aleatória obedecendo a posição mais próxima.

As informações e critérios necessários para a aplicação do SLAP na definição do arranjo físico são relacionados a diversos fatores como planta do armazém, área/capacidade de armazenamento, relação das posições totais das prateleiras, bem como dados sobre os produtos a serem estocados e tempo do processamento do pedido.

Onüt *et al.* (2008) a fim de reduzir as distâncias de movimentação nos armazéns, realizaram uma proposta heurística baseada em critérios para classificar os itens em classes,

possibilitando uma ampla aplicação do estudo quando há fatores qualitativos envolvidos nos processos de decisão.

A redução das distâncias é também uma poderosa ferramenta de melhoria das movimentações. Segundo Freire (2008), estudos frequentes de *layout* e posicionamento das linhas de produção e estocagem, visam reduzir as distâncias de deslocamentos necessários para o fluxo do produto acabado.

Mudanças nas tecnologias de deslocamentos internos e de embalagens na redução da movimentação de equipamentos com o uso da gravidade entre linha e estoque e redução do peso total de não-produtos transportados, tendem a reduzir o momento logístico passivo, melhorando a produtividade das atividades. Investimentos nessas tecnologias, que privilegiam a movimentação ativa, têm-se mostrado altamente vantajosos em médio e longo prazo. Além de reduzirem custos em operações repetitivas, essas tecnologias trazem também um impacto ambiental positivo, reduzindo o uso de energias, como combustíveis e eletricidade, além da correspondente redução de emissões de gases e poluentes (FREIRE, 2008).

2.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As empresas visam reduzir os custos logísticos, assim uma movimentação de materiais realizada de maneira adequada e a correta designação dos produtos acabados no armazém resultam, conseqüentemente, em redução de custos.

Neste contexto, o Problema de Designação da Localização de Estocagem (SLAP) baseado em informação do produto (IP), será estudado nesta dissertação para propor uma solução para alocar de forma otimizada produtos acabados no armazém, obtendo também redução de custos com deslocamentos desnecessários dos equipamentos de manuseio de materiais e de manutenção. Em relação a isso, vimos que será necessária uma ferramenta para classificar e hierarquizar os produtos. Desta forma, no próximo capítulo será apresentada a revisão bibliográfica abrangendo uma breve introdução sobre previsão da demanda, sazonalidade e técnicas para obter a otimização do posicionamento de produtos.

Capítulo 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A sazonalidade na demanda de produtos é uma característica que ocorre em armazéns, sendo causada por variações climáticas, datas comemorativas, entre outros fatores. Atualmente as empresas de todos os portes buscam por modelos que permitam prever esta previsão antecipando cenários futuros para planejar, alocar e dimensionar recursos de modo a reduzir gastos desnecessários.

Neste capítulo apresentamos primeiramente uma breve introdução sobre a previsão da demanda sazonal, pois com a percepção da mesma, poderemos classificar e hierarquizar os produtos para propormos uma maneira de alocá-los no armazém de forma otimizada.

3.1. SAZONALIDADE

Alguns setores da economia apresentam um aquecimento/desaquecimento das vendas em determinadas épocas do ano. Isso se deve às mudanças climáticas, datas comemorativas, campanhas publicitárias ou situação econômica mundial. Para que a empresa tenha um ótimo desempenho em relação ao seu manuseio de estoque de produtos acabados, a mesma deve atender-se a esta demanda sazonal. Esses dados podem ser obtidos por meio de levantamento de vendas referentes há anos anteriores e pesquisas mercadológicas (TINELLI, VIVALDINI e BECKER, 2010).

Para uma eficiente gestão da estocagem deve-se levar em consideração, além dos atributos internos à organização, tais como as características dos produtos ou do armazém, as variáveis externas que podem influenciar tanto na demanda dos produtos finais quanto no fornecimento de matéria prima (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Alguns gestores afirmam que o *know-how*, a análise do histórico de vendas e a taxa de crescimento do mercado poderão definir uma estimativa da variação da demanda, porém as aplicações de ferramentas existentes na literatura garantirão uma precisão mais concisa e confiável.

O planejamento da produção tem a previsão de demanda como um dos seus principais subsídios. A previsão tem a função de fornecer informações sobre a demanda futura dos produtos para que a produção possa ser planejada com antecedência, permitindo que os recursos produtivos estejam disponíveis na quantidade, momento e qualidade adequada (QUEIROZ e CAVALHEIRO 2003).

Segundo Wallis e Thomas (1971), a sazonalidade pode ser definida como o conjunto dos movimentos ou flutuações com período igual ou inferior a um ano, sistemáticos, mas não necessariamente regulares, que ocorrem numa série temporal (Figura 4). Desta forma, a sazonalidade é o resultado de causas naturais, econômicas, sociais e institucionais. Existem dois interesses principais no ajuste de séries temporais para variação sazonal: o estudo da sazonalidade propriamente dita e a remoção da sazonalidade da série para depois estudá-la em seus demais aspectos. Nesse último, está implícita a ideia de que a existência de movimentos sazonais afeta o reconhecimento e a interpretação de importantes movimentos não-sazonais em uma série. (PINO *et al.*, 1994).

Figura 4: Exemplo de demanda sazonal
Fonte: Adaptado de Tinelli, Vilvaldini e Becker (2011)

3.2. PREVISÃO DA DEMANDA

Segundo Odan (2010), prever significa produzir informação sobre o futuro, garantindo precisão de informações para as previsões da demanda.

O conhecimento prévio do perfil das previsões de vendas garante um eficiente planejamento, possibilitando a garantia da redução de custos com produtos poucos vendáveis ou obsoletos (FALKENBERG, 2005).

De acordo com Bowersox, Closs e Cooper (2007), para prever a demanda devemos selecionar técnicas matemáticas ou estatísticas para assim gerar previsões periódicas. Para conseguir um uso eficaz de uma ferramenta, deve-se atentar ao tipo de técnica, sua capacidade e se a mesma se aplica à situação. Para avaliar a aplicabilidade de uma técnica, podemos citar: exatidão, horizonte de tempo da previsão, valor da previsão, disponibilidade de dados, tipo de padrão de dados e experiência de quem executará a análise. Para cada técnica de previsão deve ser avaliada qualitativa e quantitativamente os seis critérios.

Davis, Aquilano e Chase (1997) afirmam que a natureza do produto, entre outros fatores, tais como disponibilidade de dados históricos, horizonte de previsão a longo, médio ou curto prazo, precisão necessária, orçamento disponível e padrão de dados existentes (horizontal, sazonal, cíclico ou tendência) determinam a escolha do método a ser adotado para a previsão da demanda. Sendo o qualitativo baseado em métodos não analíticos de julgamento, intuição e/ou entrevista, enquanto que o quantitativo utiliza modelos matemáticos para a análise.

As técnicas de previsão são divididas nas categorias, qualitativa, series temporais e casual. A técnica qualitativa depende da opinião de especialistas e informações especiais para prever o futuro. Já uma técnica qualitativa pode levar em consideração dados históricos. As séries temporais baseiam-se exclusivamente em informações referentes a períodos anteriores e nas mudanças de padrões. A técnica casual em exemplo a regressão, utiliza informações refinadas e específicas em relação às variáveis, desenvolvendo assim uma relação ente um evento principal e uma atividade prevista (BOWERSOX, CLOSS e COOPER, 2007).

Diversos componentes estabelecem uma previsão, Bowersox, Closs e Cooper (2007), destacam os principais, nível, tendência e sazonalidade. Todo projeto de previsão deve possuir uma combinação de técnicas e um sistema de apoio e gerenciamento. As técnicas de previsão visam estabelecer um ponto de partida qualitativo, refinamento os dados considerando sempre, mudanças de mercado e o gerenciamento de previsões oferece um processo

administrativo pra guiar e monitorar o esforço total. Assim, existem técnicas de previsão qualitativas e causais, porém a maioria das previsões logísticas e da cadeia de suprimento são realizadas com base em métodos de series temporais.

As previsões incluem diversos componentes, sendo que os principais são o nível, a tendência e a sazonalidade. O processo de previsão deve incorporar uma combinação de técnicas, sistemas de apoio e gerenciamento. As técnicas de previsão proporcionam um ponto de partida quantitativo, o sistema de apoio refina os dados considerando as mudanças do mercado, e o gerenciamento de previsões fornece um processo administrativo para guiar e monitorar o esforço total. Existem técnicas de previsão qualitativas e casuais, mas a maioria das previsões logísticas e de cadeias de suprimento é desenvolvida por meio de métodos de series temporais. (BOWERSOX, CLOSS e COOPER, 2007).

As series temporais baseiam-se na estrutura de dependência entre as observações sequenciais, já na análise de regressão a ordem das observações não é relevante (ODAN, 2010). Segundo Odan (2010), as series temporais podem ser divididas em diversas componentes:

- Sazonal: comportamentos que se repetem a cada ano;
- Tendência: é a componente responsável pela variação de longo prazo nos valores das observações ao longo do tempo;
- Cíclica: variações com certo grau de regularidade, mas diferentes de um ano;
- Aleatória: não possui um comportamento específico em dado período de tempo.

Além de realizar um levantamento histórico das flutuações na demanda, como demonstrado no item anterior, é necessário estimar a demanda futura a fim de preparar o planejamento da armazenagem de modo adequado. Para isso, utilizando métodos apropriados, os dados da sazonalidade oferecem subsídios a fim de se fazer uma estimativa adequada (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Validando a demanda sazonal podemos verificar a redução de custos em relação ao posicionamento garantirá uma melhor gestão da armazenagem, por meio da redução de custos logísticos referentes a redução do tempo de início ao atendimento ao pedido, bem como, redução das distâncias percorridas obtendo assim significativa redução do desgaste dos equipamentos de manuseio de materiais.

3.3. OTIMIZAÇÃO DO POSICIONAMENTO DE PRODUTOS

Dada a competitividade atual no ambiente empresarial, a gestão eficiente de sistemas logísticos tem se mostrado como fator decisivo para o sucesso corporativo. Um dos fatores que pode influir na eficiência logística é a alocação de produtos em armazéns. Dessa forma, tem-se buscado alcançar o melhor posicionamento possível dos produtos em estoques, visto que isso se apresenta como um importante fator da cadeia logística. Para se conseguir um posicionamento adequado, a fim de reduzir distâncias de deslocamento dentro do armazém, é necessário priorizar alguns produtos armazenados, em detrimento de outros (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

A definição da localização do produto dentro do armazém determina a distância percorrida para a sua recuperação e impacta diretamente nos custos de armazenagem. Os modelos de designação de posição buscam a redução das distâncias percorridas entre as prateleiras e a expedição. A maior dificuldade apontada é o tratamento das restrições encontradas que geralmente assumem condições não lineares. Geralmente as soluções empregam a implementação de algoritmos e muitos destes utilizam recursos computacionais avançados para sua resolução.

A redução dos investimentos em sistemas computacionais complexos é alcançada através de modelos simplificados. Contudo, estes alcançam, muitas vezes, apenas resultados sub-ótimos (OLIVEIRA *et al.*, 2010). Analogamente, outras ferramentas são capazes de relacionar os produtos por ordem de prioridade, indicando quais deverão ser priorizados em relação aos demais.

Slack, Johnston e Chambers (1999) afirmam que em qualquer estoque onde existam mais de um tipo de item, alguns serão mais importantes que outros. Dessa forma, ao se discriminar os diferentes itens estocados de forma que seja possível tratar cada um especificamente segundo seu grau de prioridade, minimiza-se a complexidade do problema e facilita-se o gerenciamento do estoque.

Uma ferramenta relativamente simples, mas poderosa e amplamente utilizada é a Classificação ABC, que se baseia no Princípio de Pareto (SLACK, JOHNSTON e CHAMBERS, 1999) onde 20% dos itens estocados representam 80% da movimentação financeira total da empresa. O Princípio de Pareto assegura que em todas as empresas ocorrerá a relação 80/20. O método consiste em se classificar os produtos estocados em três grupos distintos A, B e C, sendo essa a ordem decrescente de prioridade. Assim, o gerente logístico

poderá tratar cada grupo de maneira distinta, focando seus esforços na classe A, que representa a maior parcela do valor do estoque, em detrimento das outras classes, em especial a C, que representa menor significância no negócio, e por isso não demanda tanto cuidado. Tinelli, Vivaldini e Becker (2011) apresentam e validam a utilização da Classificação ABC. Na Figura 5 é ilustrada a Curva ABC, que consiste no gráfico do valor do estoque pela quantidade de itens. Pode-se notar que além da Curva ABC possibilita uma visualização geral dos produtos estocados, permite também analisar as relações apresentadas pelo Princípio de Pareto.

Figura 5: Curva ABC e lei de Pareto ou Regra do 80/20
Fonte: Adaptado de Christopher (2007)

O método da Curva ABC visa classificar os itens que possuem maior giro ou maior movimentação financeira, a ferramenta é amplamente aplicada na literatura em diversas áreas (JING-WEN e TIE-JUN, 2009; LOURENÇO e CASTILHO, 2006; RAMANATHAN, 2004; TINELLI, VIVALDINI e BECKER, 2010, 2011; TUJI, Jr, *et al.*, 2004 e ATAMANCZUK 2009) propõem a aplicação da Curva ABC para classificar os produtos que apresentem maior parcela de participação no fluxo de movimentação, ou seja, maior demanda para a empresa.

Tuji *et al.*, (2004) aplicaram o método da curva ABC para garantir melhorias na gestão de estoques em uma micro empresa alimentícia e destacam que essa ferramenta proporcionou melhorias nas atividades operacionais da empresa.

Um estudo que determina a localização de produtos no armazém a partir de classes estabelecidas de acordo com o índice de movimentação dos produtos foi proposto por Petersen *et al.*, (2004). Os produtos que apresentam maiores taxas de movimentação serão alocados próximos dos terminais de carga e descarga (expedição). A classificação pela

demanda dentro da perspectiva ABC, para o setor supermercadista, acaba gerando limitações em relação a estocagem adequada dos produtos, uma vez que, produtos de supermercados têm características físicas diferentes.

Para Huiskonen *et al.*, (2003) podem ser utilizados outros aspectos além da demanda para melhorar a eficiência da gestão de estoques. Os autores empregaram a utilização de aspectos qualitativos.

Martins e Alt (2001) afirmam que a curva ABC pode ser utilizada para gerir de maneira eficiente os valores aplicados em estoques quando definida sua classificação por valores, assim como, proporciona melhores resultados operacionais no acompanhamento das atividades de movimentação quando sua classificação ocorrer baseado na quantidade movimentada. A aplicação da ferramenta acontece através do levantamento da demanda dos itens e ordenamento dos mesmos de forma decrescente. Os itens que possuem maior movimentação formam a classe A, os de movimentação regular formam a classe B e os demais constituíram a classe C.

Gouvinhas *et al.*, (2005) definem que dois princípios fundamentais devem ser seguidos: o primeiro deles esta relacionado ao planejamento da atividade do item direcionada para a doca de expedição; e o segundo com relação a localizar próximas as atividades relacionadas para conseguir reduzir a distância de movimentação entre operações. Esses autores desenvolveram um estudo em uma empresa de armazenagem de alimentos em que utilizaram a técnica ABC para determinar a melhor alocação dos produtos na planta do depósito privilegiando a atividade de movimentação.

Segundo Van den Berg (1999), a empresa poderá obter redução dos custos operacionais sem perder a qualidade do produto ou serviço prestado, por meio da aplicação da curva ABC para análise do estoque, destacando assim, os itens que mereçam maior atenção na sua administração.

Outra ferramenta utilizada é a análise de multicritério, *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que estabelece qual critério (demanda, fragilidade, massa, movimentação financeira, sazonalidade, entre outros) deverá ser priorizado. A técnica difere-se da Curva ABC, já que consegue realizar a análise conjunta de diversos critérios, para assim realizar sua hierarquização. Diversos estudos presentes na literatura realizam diferentes aplicações para hierarquizar itens, idéias e decisões.

Magalhães (2011) propõe o uso da ferramenta multicritério AHP para hierarquizar o portfólio de uma empresa produtora de eletrodomésticos de linha branca para estabelecer quais itens deveriam ter maior atenção na realização da logística reversa.

Chiyoshi, Galvão e Morabito (2000) aplicam o modelo hipercubo integrado a metaheurísticas, como *simulated annealing* e busca tabu, para solucionar problemas de localização probabilísticos com relação à aleatoriedade na disponibilidade de servidores.

Atamanczuk (2009) aborda a classificação do estoque para a designação do posicionamento dos produtos em um arranjo físico de um armazém no setor supermercadista. As condições para o posicionamento utilizadas por Atamanczuk (2009) seguem as Normas da Vigilância Sanitária, separando os produtos em grupos, por exemplo: bebidas, alimentos sólidos, congelados, produtos de limpeza, entre outros. De acordo com as famílias de produtos, áreas foram determinadas no arranjo físico do armazém para designá-las.

Neste mesmo contexto, Santos e Rodrigues (2006), basearam-se na classificação dos produtos em famílias, respeitando as similaridades dos itens.

Desta forma, o presente trabalho abordará a aplicação destes métodos (Método ABC e Ferramenta multicritério AHP) em linguagem C e realizará testes de simulação para percepção das melhorias obtidas com relação à redução de distâncias percorridas e tempo de execução de tarefas no armazém.

3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos principais desafios das organizações está na sua capacidade de fazer escolhas certas e consistentes, de modo alinhado com seu direcionamento estratégico. Provavelmente, um dos maiores desafios intelectuais da ciência e tecnologia está em como tomar decisões certas, dada uma situação específica (TRANTAPHYLLOU, 2002).

Com a dinâmica do cenário mundial econômico, fazer as escolhas certas, com base em critérios adequados e alinhados, torna-se um fator crítico de sucesso ou até mesmo de sobrevivência organizacional. De modo simplificado, a priorização de alguns produtos em um portfólio nada mais é do que uma ordenação baseada em uma relação entre os custos e os benefícios de cada um. Terá maior prioridade os produtos em que os benefícios crescem em relação aos custos, ou seja, que apresentem maior lucratividade. Uma vez que as organizações estão inseridas em um contexto complexo e dinâmico, o desafio da classificação e priorização dos itens, para assim designá-los corretamente no armazenamento, mostra-se de grande relevância já que garantirá agilidade no atendimento ao pedido.

O processamento das variações na demanda visa quantificar e prever a distorção da demanda existente no mercado para garantir um eficiente atendimento ao pedido. As ferramentas para classificação e determinação do posicionamento ótimo dos itens em estoque apresentam grande importância, já que influenciam diretamente nos custos logísticos e nos tempos de atendimento ao pedido. Ferramentas como ABC e AHP são fundamentais para classificar e priorizar produtos acabados. Com base nestas informações juntamente com a aplicação de técnicas de detecção de demanda, obtemos dados para posicionar de forma otimizada os produtos no armazém.

Capítulo 4

METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os métodos adotados nesta dissertação. Primeiramente será mostrada a ferramenta multicritério AHP e sua formulação para encontrar qual ferramenta/método atingirá maior eficiência para otimizar o posicionamento de produtos acabados, após apresenta-se a metodologia de aplicação do AHP para alocar produtos acabados no armazém, baseado pelo critério relacionado como prioritário na aplicação da ferramenta AHP. Posteriormente é apresentado o método da Curva ABC.

4.1. FERRAMENTA MULTICRITÉRIO AHP PARA ESTABELECER O CRITÉRIO PARA ALOCAÇÃO

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é uma técnica de decisão desenvolvida por Thomas Saaty 1977, sendo um método multicritério de auxílio à decisão em ambientes complexos, onde muitas variáveis ou critérios são considerados na priorização e seleção de alternativas.

O AHP é designado para lidar com o racional e o intuitivo para selecionar a melhor alternativa de um conjunto de alternativas avaliadas com relação a vários critérios (SAATY, 2001).

Segundo ODPM (2004), o AHP, como um método de compensação, assume agregação completo entre os critérios e desenvolve um modelo aditivo linear. Nesta técnica, o analista realiza julgamento simples de comparação par a par das características dos produtos, que são então usados para desenvolver as prioridades do “*rankeamento*” das alternativas de

classificação. Os pesos e as pontuações são alcançados basicamente por meio de comparações par a par entre todos os critérios.

O AHP pode ser usado para construir o problema de tomada de decisão, sendo uma hierarquia simples consistindo de três níveis: objetivo geral da decisão, os critérios pelos quais as alternativas serão avaliadas e as alternativas disponíveis (Figura 6). Assim, os analistas podem avaliar sistematicamente as alternativas, fazendo comparações de par a par para cada um dos critérios escolhidos. Esta comparação pode usar dados concretos das alternativas ou julgamentos humanos como uma forma de informações de entrada subjacente (VARGAS, 2010; SAATY, 2008a).

Figura 6: Decomposição de um problema em uma estrutura hierárquica
 Fonte: adaptado de Saaty (1990)

AHP transforma as comparações, que são a maioria das vezes empíricas, em valores numéricos que são posteriormente processados e comparados. O peso de cada critério permite a avaliação de cada um dos elementos dentro da hierarquia definida. De acordo com Vargas (2010), esta capacidade de converter dados empíricos em modelos matemáticos é a principal contribuição da técnica AHP quando comparado com outras técnicas. Depois que todas as comparações foram feitas, e os pesos relativos entre cada um dos critérios a serem avaliados foram estabelecidos, a probabilidade numérica de cada alternativa é calculada. Esta probabilidade determina a possibilidade de que a alternativa tem de cumprir a meta pretendida.

O AHP é considerado um método robusto de avaliação que permite não apenas a análise de variáveis quantitativas, mas também qualitativas. A aplicação desta ferramenta, portanto é adequada ao contexto desta pesquisa, pois irá hierarquizar duas técnicas para basear a alocação de produtos acabados em armazéns inteligentes. Obtendo qual técnica é prioritária,

ao final desta pesquisa, iremos conflitar o resultado teórico com as simulações práticas, a fim de amparar os testes executados.

4.1.1. ESTRUTURAÇÃO AHP

A Aplicação do AHP deve seguir as seguintes etapas segundo Saaty (2008b):

- Definir o problema;
- Determinar qual o objetivo a ser alcançado;
- Estruturar a hierarquia em níveis, com o objetivo no topo, os critérios no nível intermediário e as alternativas de decisão (Figura 07);
- Elaborar um conjunto de matrizes por meio da comparação par a par;
- Estabelecer uma escala de prioridades de cada matriz. A partir de todas as escalas uma análise conjunta ou global deverá ser obtida.

Após, a aplicação destas etapas, inicia-se a fase de avaliações, que compreende a estruturação da matriz com as comparações par a par entre os critérios (GRANEMANN e GARTNER, 1998). A comparação par a par estabelece as importâncias relativas de cada critério, sendo realizada de acordo com os pesos da escala de julgamento proposta por Saaty (1990), apresentado no Quadro 1:

Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois critérios contribuem igualmente para a meta
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação a outra com o mais alto grau de certeza
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições
Valores recíprocos	Se a atividade i recebe um valor x quando comparado a atividade j , então j recebe o valor recíproco $1/x$ quando comparado a i	

Quadro 1: Escala fundamental de julgamento em grau de importância.

Fonte: Adaptado de SAATY (1991)

Na Equação 1 é apresentada a matriz de comparação para a par

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

E devemos nos atender às seguintes condições (Equação 2):

$$a) A = (a_{ij}) \quad b) a_{ij} = \alpha \quad c) a_{ji} = \frac{1}{\alpha} \quad d) a_{ii} = 1 \quad (2)$$

Onde:

A : matriz de comparação par a par;

a_{ij} : comparação par a par entre os elementos i e j ;

a_{ji} : comparação recíproca de a_{ij} ;

a_{ii} : comparação par a par entre o mesmo elemento disposto na linha e na coluna.

O próximo passo após a construção da matriz é a computação do autovetor W . Com a resolução da matriz de comparação par a par, um vetor coluna de prioridades ou autovetor é obtido pelo processo de cálculo proposto por Saaty (1991).

[...] dividem-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna (isto é, normaliza-se a coluna) e, então, somam-se os elementos em cada linha resultante e divide-se esta soma pelo número de elementos na linha. Este é um processo para tirar a média das colunas normalizadas.

O autovetor apresenta a importância relativa a cada elemento (critério, subcritério, alternativa de decisão, etc.) da estrutura hierárquica e deve ser gerado de uma matriz consistente. Para cada matriz de comparação par a par um autovetor é gerado contemplando as preferências ou prioridades respectivas aos elementos comparados naquela matriz.

A Equação 3 apresenta W' , a multiplicação da matriz de comparação par a par (A) pelo autovetor (W).

$$W' = A * W \quad (3)$$

Onde:

W' : novo vetor coluna;

A : matriz de comparação par a par;

W : autovetor.

v) Calcula-se o autovalor máximo (Equação 4):

$$\lambda_{max} = \left(\frac{1}{n}\right) * \left(\frac{w'_1}{w_1} + \frac{w'_1}{w_1} + \frac{w'_1}{w_1}\right) \quad (4)$$

Onde:

λ_{max} : autovalor máximo;

W'_n : componente N do novo vetor coluna gerado;

W_n : componente N do autovetor;

n : número de elementos comparados.

vi) Calcula-se o índice de consistência (Equação 5):

$$IC = \left(\frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)}\right) \quad (5)$$

Sendo:

IC : índice de consistência;

λ_{max} : autovalor máximo;

n : número de critérios comparados.

viii) Calcula-se a razão de consistência (Equação 6):

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (6)$$

Onde:

RC : razão de consistência;

IC : índice de consistência;

IR : índice randômico*.

Segundo Saaty (1987), o índice randômico é tabelado, conforme dados do Quadro 2:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Quadro 2: Valores de Índice Randômico conforme o número de elementos

Fonte: Adaptado de Saaty (1987)

De acordo com Saaty (1987) uma razão de consistência menor ou igual a $RC \leq 0,10$ é considerada aceitável, portanto a matriz com julgamentos é consistente.

Segundo Rabbani e Rabbani (1996), a razão de consistência não deve ter um parâmetro igual para todas as matrizes. A razão de consistência com valor até 0,10 é adequada para comparações par a par de cinco ou mais elementos. Para uma comparação de quatro elementos a razão de consistência não deve extrapolar 0,08 e para uma comparação de três elementos a razão de consistência deve resultar em 0,05 ou menos. Rabbani e Rabbani (1996), afirmam ainda, que para alcançar a consistência, comparações com mais de nove elementos devem ser evitadas e para comparações entre dois elementos a análise de consistência não é necessária.

Para esta pesquisa foi considerado o parâmetro proposto por Saaty (1991), que considera 0,10 de razão de consistência ou menos para a análise de consistência.

4.1.2. AHP PARA ALOCAÇÃO DE PRODUTOS

Realizados os passos anteriores, a fim de aplicar a ferramenta e encontrar qual critério (demanda, movimentação financeira e sazonalidade) devemos priorizar para assim designarmos áreas no armazém para alocar os produtos hierarquizados, sendo:

- Alta: compreende poucos itens, sendo estes os que representam maior participação no critério estabelecido como prioritário na aplicação da ferramenta multicritério AHP, juntamente com os itens que apresentem maior densidade. (representa aproximadamente 80% do critério com relação ao somatório deste critério);
- Média: produtos que apresentem significância média para o critério estabelecido como prioritário, porém possuem baixo peso (esta categoria compreende 15% de participação no critério);
- Baixa: itens que tem pouca participação no critério prioritário da aplicação da ferramenta multicritério AHP (apenas 5% de participação no critério estabelecido).

4.2. MÉTODO CURVA ABC

O Método ABC é amplamente aplicado na literatura, pois possibilita a redução das distâncias totais de movimentação do produto acabado em um armazém. A técnica apresenta grande eficiência quando comparada a uma movimentação de materiais aleatória.

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), a lei de Pareto, princípio base da curva ABC, estabelece que uma pequena proporção (aproximadamente 20%) dos itens totais contidos em estoque representam uma grande proporção (cerca de 80%) do valor total em estoque. Assim pode-se utilizar esse princípio para a classificação dos diversos materiais armazenados de acordo com sua movimentação de valor. Dessa forma, é possível que os gerentes logísticos priorizem seus esforços de acordo com os produtos mais significativos.

O método é definido de acordo com Askin e Standridge (1993) da seguinte forma:

[...] Os produtos são divididos em três classes (A, B e C) de acordo com o índice de movimentação. Os itens com maior índice são classificados na classe A e alocados em posições mais próximas das portas de entrada e/ou saída de mercadorias. Aqueles que possuem índice de movimentação intermediário são classificados na classe B e alocados em posições com distâncias intermediárias e, finalmente os itens classificados na classe C são aqueles que possuem a menor necessidade de movimentação por isso são alocados nas posições de maior distância até as portas de entrada e saída de mercadorias.

Segundo Martins e Alt (2001) não existe um valor padrão para determinar quais itens pertenceram à classe A, B ou C, porém Martins e Laugen (2002), definem os três grupos da seguinte maneira:

- Classe A: é constituída por poucos itens (até 10% ou 20% dos itens) e apresenta alto valor de consumo acumulado (acima de 50% até 80% em geral);
- Classe B: é constituída por um número médio de itens (20% a 30% em geral) e apresenta um valor de consumo acumulado ao redor de 20% a 30%;
- Classe C: é constituída por um grande número de itens (acima de 50%) e apresenta um baixo valor de consumo acumulado para a classe (5% a 10%).

Os critérios mais utilizados para a classificação de estoque segundo a curva ABC são o uso anual e do valor, mas em alguns casos outros critérios podem contribuir: efeitos da falta

de estoque, fornecimento incerto e risco de deterioração ou obsolescência (BRAGA, PIMENTA e VIEIRA 2009).

Por meio desta classificação, a empresa obtém a relação de produtos responsáveis pela maior parte de seu faturamento, como pode ser visualizado na Figura 7. Além disso, produtos com maior saída devem especificamente ficar próximos da área de expedição.

Figura 7: Curva ABC
Fonte: Adaptado de Martins e Laugeni (2002)

4.2.1. ABC PARA ALOCAÇÃO DE PRODUTOS

Após a realização da aplicação citada na seção anterior para a classificação dos produtos de acordo com a movimentação financeira, os produtos de cada classe serão alocados nas áreas designadas para cada classe no armazém, de acordo com as especificações de Martins e Laugeni (2002), descritas em 4.2.

4.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O AHP permite avaliar variáveis qualitativas em um processo de tomada de decisão gerando o resultado que esta pesquisa objetiva. Esta técnica foi adotada, pois a ferramenta multicritério possibilita a análise de vários critérios para a classificação, divergindo do método ABC. Com relação ao número de itens analisados o ABC obtém um desempenho

melhor, já que não tem limite para gerar a classificação, para podermos atribuir uma hierarquia para muitos itens com o AHP, devemos utilizar famílias de produtos ou classificar os itens de acordo com o critério estabelecido como prioritário pelo AHP. Neste contexto, o próximo capítulo abordará a aplicação dos métodos apresentados.

Capítulo 5

APLICAÇÃO DOS MÉTODOS

Apresentamos como fator relevante o alto custo de mão de obra envolvido nas atividades de manuseio, portanto a otimização desta atividade de manuseio proporciona reduções relevantes nos custos operacionais. Para determinar essa redução, uma solução apresentada está relacionada à atividade de movimentação dos produtos acabados em armazéns. Com a redução dos tempos e distâncias percorridas as empresas conseguem realizar suas atividades com menor necessidade de recursos humanos e com mais agilidade.

Primeiramente, esta seção descreve o modelo do armazém adotado para ambos os métodos. Posteriormente esta pesquisa propõe a aplicação da ferramenta multicritério AHP, a fim de obter um resultado teórico referente à qual método/ferramenta, respectivamente ABC/AHP, garantirá maior otimização para o posicionamento de produtos acabados no armazém. Assim, adota-se a Curva ABC, baseada no princípio de Pareto para designar áreas no armazém para armazenarem cada Classe obtida. O AHP, ferramenta multicritério, após aplicada, nos dará qual critério devemos priorizar em relação aos demais, para assim propor a área designada para cada Hierarquia estabelecida nos testes baseados no AHP.

5.1. LAYOUT DO ARMAZÉM

Para validar a aplicação das técnicas adotadas é necessário um *layout* para simular as tarefas de descarregamento e carregamento de caminhão, ou seja, simular o fluxo de entradas e saídas do armazém de produtos acabados. Assim, poderemos verificar o custo, ou seja, a

distância percorrida e o tempo para execução de cada tarefa, seja ela da doca para a prateleira (descarregamento) ou da prateleira para a doca (carregamento).

As ferramentas adotadas foram programadas em linguagem C e integradas com o Sistema Supervisor de atribuição de tarefas para os AGVs, sendo que o Sistema Supervisor recebe as tarefas a serem executadas e as repassa para os AGVs.

O *layout* do armazém utilizado (Figura 8) possui nove corredores, três plataformas de carregamento e descarregamento, designadas docas e seis *depots*, pois o armazém opera com seis AGVs. Os AGVs recebem a tarefa a ser executada, podendo ser esta de carregamento ou descarregamento, após a conclusão da tarefa o sistema é informado sobre quanto tempo demorou cada tarefa e as distâncias percorridas, sendo assim, os dados foram colocados nos Quadros 20 ao 79 para posterior análise.

A fim de, obter uma simulação mais próxima da realidade de um armazém real, a aluna realizou diversas visitas em plantas industriais e centros de distribuição da região, assim, adotou-se uma designação de letras e números para cada corredor do armazém (Figura 9).

Figura 8: Modelo 2D do Armazém utilizado nas simulações
Fonte: Adaptado de Vivaldini (2012)

Figura 9: Modelo 2D do Armazém utilizado nas simulações
Fonte: Adaptado de Vivaldini (2012)

As tarefas são recebidas pelo WMS, onde cada tarefa tem sua origem (x_i, y_i) e destino (x_f, y_f) . O conjunto de tarefas representa o atendimento de um pedido, tal como carregamento ou descarregamento de uma carreta. Adotou-se que cada pedido contém um conjunto de tarefas de descarregamento de um caminhão, ou seja, transportar os paletes da doca para as prateleiras, sendo para cada pedido um conjunto de 27 tarefas (27 paletes).

Com base nestas condições aplicou-se o método ABC e a ferramenta multicritério AHP para alocar 27 paletes no armazém, vale ressaltar que para este teste inicial o armazém apresentava todas as posições disponíveis.

5.2 AHP PARA DETERMINAÇÃO DE CRITÉRIO

O primeiro nível da estrutura hierárquica compreendeu a meta principal, que pretende definir qual técnica/ferramenta devemos priorizar na aplicação para alocação de produtos acabados no armazém.

Já o segundo nível é composto por três critérios, sendo: demanda, movimentação financeira e sazonalidade. Estes critérios foram comparados entre si em relação ao objetivo. A fim de esclarecer a definição de cada critério, segue uma breve explicação de cada um:

- Demanda: refere-se à quantidade vendida de cada produto acabado, ou seja, para esta dissertação corresponde ao fluxo de saída de itens do armazém;
- Movimentação financeira: compreende a participação de cada item no lucro da empresa;
- Sazonalidade: estabelecem-se os comportamentos de demanda para cada produto.

Aplicação do Método de Análise Hierárquica com duas alternativas e três critérios de decisão, que serão descritos a seguir:

A meta é escolher a melhor ferramenta para classificar ou hierarquizar os portfólio de uma empresa, e para essa análise possuímos três alternativas de decisão:

- Método da Curva ABC;
- Ferramenta multicritério AHP.

Para realizar a aplicação, foram considerados três critérios:

- C1: Demanda;

- C2: Movimentação financeira;
- C3: Sazonalidade.

A estrutura hierárquica formulada, relacionando a meta, os critérios e as alternativas de decisão é apresentada na Figura 10.

Figura 10: Estrutura hierárquica para o problema de seleção da ferramenta/método a ser aplicado.
Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

5.2.1. AVALIAÇÃO PARA OS CRITÉRIOS

Para aplicar o AHP o primeiro passo é montar a matriz de comparação par a par e atribuir os pesos de acordo com a escala fundamental do Quadro 1 (Seção 4.1.2). Todos os cálculos envolvidos neste tópico seguem a metodologia apresentada na seção 4.1.1. O julgamento ao comparar par a par os critérios de decisão é o apresentado no Quadro 3:

		C1	C2	C3
		Demanda	Movimentação Financeira	Sazonalidade
C1	Demanda	1	1/7	1/2
C2	Movimentação Financeira	7	1	5
C3	Sazonalidade	2	1/5	1

Quadro 3: Matriz de comparação par a par entre os critérios de decisão

Sendo:

C1: Critério 1 - demanda

C2: Critério 2 - movimentação financeira

C3: Critério 3 - sazonalidade

Para obter a prioridade relativa a cada critério devemos calcular o autovetor, seguindo as fases *i*, *ii* e *iii*.

i) Somam-se os pesos, ou seja, os julgamentos das colunas referente à matriz de comparação par a par, obtendo assim o autovetor W, que é apresentado no Quadro 4.

Σ	10	1,343	6,5
----------	----	-------	-----

Quadro 4: Somatório das colunas da matriz de comparação par a par

ii) Deve-se normalizar os valores da matriz de comparação par a par, por meio da divisão de cada elemento pelo autovetor W (Quadro 5).

		C1	C2	C3
		Demanda	Movimentação Financeira	Sazonalidade
C1	Demanda	0,100	0,106	0,077
C2	Movimentação Financeira	0,700	0,745	0,769
C3	Sazonalidade	0,200	0,149	0,154

Quadro 5: Normalização da matriz de comparação par a par

iii) No Quadro 6 calcula-se a média aritmética para cada linha obtendo-se assim, o autovetor de prioridades:

C1	Demanda	0,094
C2	Movimentação Financeira	0,738
C3	Sazonalidade	0,168

Quadro 6: Autovetor gerado da matriz de comparação par a par entre os critérios

Obtemos como resultado que o critério 2, movimentação financeira, é o mais relevante em relação aos demais critérios, seguido pelo critério 3, sazonalidade, e posteriormente pelo critério 1 demanda.

iv) Na Equação 7 multiplica-se a matriz de comparação par a par pelo autovetor gerando um novo vetor coluna, conforme Equação 3 da seção 4.1.1.:

$$W' = A * W \quad (7)$$

Onde:

W : novo vetor coluna;

A : matriz de comparação par a par;

W : autovetor.

A Equação 8 apresenta W' , a multiplicação da matriz de comparação par a par (A) pelo autovetor (W).

$$W' = \begin{bmatrix} 1 & 1/7 & 1/2 \\ 7 & 1 & 5 \\ 2 & 1/5 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,094 \\ 0,738 \\ 0,168 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,283 \\ 2,236 \\ 0,504 \end{bmatrix} \quad (8)$$

v) Calcula-se o autovalor máximo (Equação 9) :

$$\lambda_{max} = \left(\frac{1}{n}\right) * \left(\frac{W'_1}{W_1} + \frac{W'_1}{W_1} + \frac{W'_1}{W_1}\right) = \left(\frac{1}{3}\right) * \left(\frac{0,283}{0,094} + \frac{2,236}{0,738} + \frac{0,504}{0,168}\right) = 3,0135 \quad (9)$$

Onde:

λ_{max} : autovalor máximo;

W'_n : componente N do novo vetor coluna gerado;

W_n : componente N do autovetor;

n : número de elementos comparados.

vi) Calcula-se o índice de consistência (Eq. 10):

$$IC = \left(\frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)}\right) = \left(\frac{(3,0135 - 3)}{(3-1)}\right) = 0,00675 \quad (10)$$

Sendo:

IC : índice de consistência;

λ_{max} : autovalor máximo;

n : número de critérios comparados.

viii) Calcula-se a razão de consistência (Equação 11):

$$RC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,00675}{0,58} = 0,0116 \quad (11)$$

Onde:

RC : razão de consistência;

IC : índice de consistência;

IR: índice randômico*.

Segundo Saaty (1987), o índice randômico é tabelado, conforme dados do Quadro 7 o *IR* para $n=3$ é 0,58.

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>IR</i>	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Quadro 7: Valores de Índice Randômico conforme o número de elementos
Fonte: Adaptado de Saaty (1987)

De acordo com Saaty (1987) uma razão de consistência menor ou igual a $RC \leq 0,10$ é considerada aceitável, portanto a matriz com julgamentos é consistente.

5.2.2. AVALIAÇÃO PARA AS ALTERNATIVAS DE DECISÃO

Para a avaliação das alternativas de decisão aplicaremos novamente os passos citados anteriormente para as matrizes de comparação par a par, exceto o teste de consistência que não se aplica a este caso, pois, possui somente dois elementos. Posteriormente, analisaremos de maneira conjunta obtendo assim o autovetor geral.

Nesta etapa deve-se construir três matrizes de comparação par a par utilizando as alternativas de decisão para cada critério, baseando-se na tabela de pesos de escala fundamental, vide Quadros 8, 9 e 10.

	Aleatório	AHP
Aleatório	1	1/6
AHP	6	1

Quadro 8: Matriz gerada da comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério demanda

	Aleatório	AHP
Aleatório	1	8
AHP	1/8	1

Quadro 9: Matriz gerada da comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério movimentação financeira

	Aleatório	AHP
Aleatório	1	1/5
AHP	5	1

Quadro 10: Matriz gerada da comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério sazonalidade

Devemos agora, calcular o autovetor para cada matriz de comparação par a par, por meio do cálculo do somatório de cada coluna, normalização dos dados do Quadro 12, 15 e 18 e a extração da média aritmética das linhas da matriz normalizada, apresentado no Quadro 13, 16 e 19, conforme os passos executados em *i*, *ii* e *iii*. Vide Quadros 11 a 19.

Σ	7	1,167
----------	---	-------

Quadro 11: Somatório das colunas da matriz referente à comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério demanda.

	Aleatório	AHP
Aleatório	0,143	0,143
AHP	0,857	0,857

Quadro 12: Normalização da matriz referente à comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério demanda.

C1	Aleatório	0,143
C2	AHP	0,857

Quadro 13: Autovetor referente à matriz de comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério demanda.

Σ	1,125	9
----------	-------	---

Quadro 14: Somatório das colunas da matriz referente à comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério movimentação financeira.

	Aleatório	AHP
Aleatório	0,889	0,889
AHP	0,111	0,111

Quadro 15: Normalização da matriz referente à comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério movimentação financeira.

C1	Aleatório	0,889
C2	AHP	0,111

Quadro 16: Autovetor referente à matriz de comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério movimentação financeira.

Σ	6	1,2
----------	---	-----

Quadro 17: Somatório das colunas da matriz referente à comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério sazonalidade.

	Aleatório	AHP
Aleatório	0,167	0,167
AHP	0,833	0,833

Quadro 18: Normalização da matriz referente à comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério sazonalidade.

C1	Aleatório	0,167
C2	AHP	0,833

Quadro 19: Autovetor referente à matriz de comparação par a par entre as alternativas de decisão com relação ao critério sazonalidade

Segundo Shimizu (2001), para esta aplicação onde n , número de elementos, corresponde a 2, não será necessário calcular a consistências das três matrizes.

A fim de obter uma análise conjunta das prioridades dos critérios e das alternativas de decisão, deve-se multiplicar os três autovetores relativos às matrizes de comparação par a par entre as alternativas de decisão pelo autovetor relativo à matriz de comparação par a par dos critérios (Equação 12).

$$\text{Autovetor Geral} = \begin{bmatrix} 0,143 & 0,889 & 0,167 \\ 0,857 & 0,111 & 0,833 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,094 \\ 0,738 \\ 0,168 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,698 \\ 0,302 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Com a análise da ferramenta multicritério para determinar qual técnica de alocação deverá obter melhores resultados, obtemos a priorização dos itens que apresentarem maior escala de participação no quesito movimentação financeira juntamente com a alocação com base na ferramenta multicritério AHP apresentou 69,8% em relação a alocação com base na Curva ABC 30,2%.

A aplicação AHP tem prioridade em relação ao método ABC, sendo assim o AHP deverá apresentar maior otimização do posicionamento de produtos acabados em armazém nas simulações.

5.3. ABC PARA ALOCAÇÃO DE PRODUTOS

O modelo ABC é usualmente empregado para a gestão de investimento em estoques, mas, também pode ser utilizado para a gestão de atividades operacionais. Assim, conclui-se que a correta adequação do espaço de armazenagem e análise da movimentação financeira ou demanda sazonal do portfólio garantirão a otimização do sistema de armazenagem.

Neste contexto, para podermos demarcar as áreas que pertencerão a cada classe, A, B e C, no armazém. As prateleiras que estão mais próximas da área de expedição serão designadas classe A, o princípio de Pareto propõe que essa classe contemplará 20% das posições efetivas do armazém, já que estes produtos pertencem a 80% da lucratividade da empresa. Dando continuidade na determinação do número de prateleiras para cada classe, B e C, contemplarão respectivamente, 30% e 50%.

No armazém adotado temos um total de 168 posições (Figura 11), sendo:

A - 34 posições, representando 20% das posições disponíveis no armazém;

B - 50 posições, sendo 30% das posições;

C - 84 posições, ou seja, 50% das posições de armazenamento do armazém.

*Figura 11: Áreas do armazém designadas para cada classe.
Fonte: Adaptado de Vivaldini (2012)*

A Curva ABC baseia-se em dados referentes à demanda dos produtos acabados, seus respectivos valores unitários e o código do produto (Apêndice 1). Para obtermos a classificação dos itens, foi multiplicado a demanda pelo valor unitário dos produtos, a fim de encontrar quais produtos representam maior parcela na movimentação financeira da empresa. Estes produtos deverão ser organizados de forma decrescente.

A determinação das classes foi obtida por meio da porcentagem acumulada de cada item em relação à movimentação financeira total. Estabelecido este roteiro, baseou-se nas limitações de cada classe propostas por Martins e Laugen (2002), vide seção 4.2.

Integrando as informações da classificação dos produtos com as áreas designadas no armazém para cada classe, o algoritmo desenvolvido aloca os itens de maneira otimizada em comparação a uma classificação aleatória.

5.4. AHP PARA ALOCAÇÃO DE PRODUTOS

O método AHP difere-se do ABC, este leva em consideração somente um critério por análise (por exemplo: movimentação financeira ou giro), já o AHP pode basear-se em vários critérios. Sendo assim, a proposta para designar itens no armazém com base no AHP será baseada nos itens que apresentem maior movimentação financeira juntamente com a variável dos itens que apresentem maior massa, já que itens pesados geram maior desgaste de equipamentos de manuseio, alocando os mesmos próximos das áreas de expedição conseguiremos reduzir este custo.

Designação de posições no armazém para cada nível de hierarquia foi proposta com base semelhante ao *layout* com áreas para cada classe ABC. Sendo apresentada na Figura 12.

- Prioridade alta: 20 posições, representando aproximadamente 20% das posições disponíveis;
- Prioridade média: 67 posições, sendo 40% do total de posições do armazém;
- Prioridade baixa: 81 posições, ou seja, 48% das 168 posições disponíveis para o armazenamento de produtos acabados.

Figura 12: Layout armazém com as posições designadas para cada tipo de prioridade.
Fonte: Adaptado de (Vivaldini 2012)

5.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos foram programados em linguagem C e por meio da integração do Sistema Proposto com o Sistema Supervisor desenvolvido no LabRoM, o algoritmo foi validado por meio de testes de simulação que serão apresentados no Capítulo a seguir.

Capítulo 6

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado do projeto foi a implementação de um sistema de otimização do posicionamento de produtos acabados armazenados em armazéns inteligentes para reduzir custos logísticos e garantir um ótimo fluxo de materiais, bem como agilizar o atendimento ao pedido

Para validar o Sistema Proposto, foram realizadas simulações de ambas as técnicas implementadas (ABC e AHP) e armazenamento aleatório, a fim de comparar o tempo de execução e distâncias percorridas para cada categoria.

As simulações ocorreram em duas fases, sendo: a primeira simulando o fluxo de descarregamento de um caminhão, através de um teste contendo 27 paletes, ou seja, 27 tarefas e posteriormente o segundo estudo baseou-se em tarefas de carregamento e descarregamento por um período de um dia, compreendendo 1620 tarefas executadas em 20 testes para a simulação de armazenamento aleatória, com base no método ABC e utilizando o critério AHP.

6.1. SIMULAÇÕES

Os programas foram desenvolvidos em linguagem C, para validarmos o andamento das tarefas atribuídas o Sistema Proposto de otimização desenvolvido interage com o Sistema Supervisor de atribuição de tarefas para os AGVs (Figura 13), desenvolvido no LabRoM (Laboratório de Robótica Móvel - EESC/USP) por Kelen C. T. Vivaldini. Os testes foram

realizados por meio de simulações computacionais utilizando seis (6) AGVs em um armazém inteligente.

Figura 13: Sistema de Gerenciamento de AGV
Fonte: Vivaldini (2012)

O pedido é recebido pelo WMS, assim o sistema proposto refaz as posições de onde os paletes serão carregados/descarregados. Após, o sistema proposto envia para o Supervisor os pedidos, e então o Supervisor verifica o tempo de atendimento para o pedido, a quantidade de AGVs necessários para executar a tarefa e assim faz a atribuição das tarefas para o AGVs. Após a execução de cada carregamento e descarregamento de um paleta, o AGV envia uma mensagem para o Supervisor, e Sistema Proposto (Figura 14) é atualizado, atualizando também os dados do WMS sobre o atendimento do pedido. Assim após o atendimento do pedido ser completado o sistema proposto tem os dados referentes ao custo (metros percorrido) e tempo de atendimento.

Foi utilizado o ambiente simulado *Player/Stage* (GERKEY, 2003) para executar o atendimento dos pedidos emulando a execução das rotas pelos AGVs.

Figura 14: Sistema Proposto

6.2. TESTE I

Este teste compreende a simulação do fluxo de entradas e saídas de um armazém de produtos acabados. Para esta análise utilizou-se um portfólio reduzido de itens, sendo este com 12 produtos (Apêndice 2).

Para um estudo inicial, realizou-se um teste de atendimento de um pedido contendo 27 tarefas de descarregamento de caminhão, ou seja, armazenamento de 27 paletes nas prateleiras de maneira aleatória, com base na curva ABC e com a aplicação da ferramenta multicritério AHP.

O teste inicial contou com a execução de 27 tarefas, ou seja, armazenamento de 27 paletes. Os paletes foram transportados da doca para a prateleira. A atribuição dos locais para armazenar os paletes foi estabelecida de três formas diferentes para obtermos parâmetros para a comparação entre aleatório, ABC e AHP.

A redução de distâncias, bem como, do tempo de atendimento ao pedido (nesta dissertação refere-se a movimentar o produto, ou seja, pegar o produto na prateleira e leva-lo até a doca de expedição, ou vice e versa).

No Quadro 20 encontram-se a relação das tarefas executadas, onde temos a indicação de qual doca cada paleta de produtos se encontra, e onde será armazenado determinado paleta para cada aplicação do Sistema Proposto. O quadro oferece também a classificação ou prioridade dos produtos estabelecidos pela aplicação dos métodos.

Após a simulação dos testes, obtiveram-se os dados referentes ao Quadro 21 que apresenta os custos totais para executar cada tarefa de movimentação de paleta. Custos totais neste projeto contempla a distância percorrida para a execução da tarefa, a mesma é dada em metros. No Quadro 22, são apresentados os dados referentes ao tempo de execução de cada tarefa.

Os Quadros 21 e 22 também comparam as técnicas de alocação, sendo

- Aleatório em comparação com ABC;
- Aleatório comparado com AHP;
- ABC com AHP.

Com base nos produtos classificados de acordo com o Método ABC, estabeleceu-se um quadro (Apêndice 1) para fundamentar a alocação dos paletes nas áreas designadas na seção 5.3.

Para validar a aplicação da ferramenta ABC, os produtos referentes a cada classe, A, B e C foram separados em quadros diferentes para melhor percepção da otimização do posicionamento dos produtos. Nos Quadros 23 e 25 apresentam-se a otimização para tarefa. Já nos Quadros 24 e 26 temos o somatório de tarefas executadas para a classe A, com relação a custo total e tempo total respectivamente.

Para a Classe A, temos com a execução do teste, que a distância percorrida para atender a 4 tarefas, compreendia 12,48 metros com a alocação aleatória, já com a alocação baseada no método ABC temos, 5,26 metros, ou seja, uma redução de 57,87%. Com relação ao tempo de execução obteve-se uma redução de 52,93%.

Os resultados referentes às Classes B e C são apresentados nos Quadros 27 a 30 e Quadros 31 a 34, respectivamente.

TESTE I									
Tarefa 13 - Descarregamento									
Tarefa	Código	Aleatório		ABC			AHP		
		Posição Atual	Posição Final	Posição Atual	Posição Final	Classe	Posição Atual	Posição Final	Prioridade
		Doca	Prateleira	Doca	Prateleira		Doca	Prateleira	
1	11	7	203	7	294	A	7	287	Alta
2	12	8	261	8	174	C	8	249	Baixa
3	4	9	207	9	175	C	9	250	Baixa
4	11	4	230	4	295	A	4	294	Alta
5	12	5	247	5	176	C	5	251	Baixa
6	12	6	304	6	177	C	6	252	Baixa
7	7	1	246	1	269	B	1	290	Média
8	1	2	319	2	270	B	2	291	Média
9	11	3	241	3	296	A	3	295	Alta
10	4	19	314	19	178	C	19	253	Baixa
11	11	20	280	20	297	A	20	296	Alta
12	9	21	238	21	271	B	21	292	Média
13	3	16	276	16	179	C	16	244	Baixa
14	7	17	200	17	272	B	17	293	Média
15	4	18	163	18	180	C	18	245	Baixa
16	7	13	317	13	273	B	13	298	Média
17	7	14	233	14	278	B	14	299	Média
18	3	15	297	15	181	C	15	246	Média
19	9	31	157	31	279	B	31	300	Média
20	12	32	251	32	182	C	32	247	Baixa
21	9	33	158	33	280	B	33	301	Média
22	4	28	174	28	183	C	28	248	Média
23	10	29	236	29	184	C	29	259	Média
24	2	30	167	30	185	C	30	260	Média
25	2	25	160	25	186	C	25	261	Média
26	3	26	251	26	187	C	26	262	Média
27	9	27	214	27	281	B	27	302	Média

Quadro 20: Teste I - Relação tarefa de descarregamento com a posição atual (doca) e posição final (prateleira) para alocação aleatória, ABC e AHP

CUSTO TOTAL (metros)											
Classe	Descarregamento		Distância total percorrida (m)			Redução Aleatório - ABC		Redução Aleatório - AHP		Redução ABC - AHP	
	Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	AHP	(m)	%	(m)	%	(m)	%
A	1	1	34,15	12,40	16,90	21,75	63,69%	17,25	50,51%	-4,50	-36,29%
C	2	1	30,65	32,15	30,15	-1,50	-4,89%	0,50	1,63%	2,00	6,22%
C	3	1	38,65	31,15	31,15	7,50	19,40%	7,50	19,40%	0,0	0,00%
A	4	1	36,65	13,40	12,40	23,25	63,44%	24,25	66,17%	1,00	7,46%
C	5	1	28,15	30,15	32,15	-2,00	-7,10%	-4,00	-14,21%	-2,00	-6,63%
C	6	1	8,40	29,15	33,15	-20,75	-247,02%	-24,75	-294,64%	-4,00	-13,72%
B	7	1	27,15	24,40	19,90	2,75	10,13%	7,25	26,70%	4,50	18,44%
B	8	1	13,90	25,40	20,90	-11,50	-82,73%	-7,00	-50,36%	4,50	17,72%
A	9	1	36,15	14,40	13,40	21,75	60,17%	22,75	62,93%	1,00	6,94%
C	10	1	14,90	22,15	28,15	-7,25	-48,66%	-13,25	-88,93%	-6,00	-27,09%
A	11	1	17,90	12,40	11,40	5,50	30,73%	6,50	36,31%	1,00	8,06%
B	12	1	27,15	20,40	15,90	6,75	24,86%	11,25	41,44%	4,50	22,06%
C	13	1	13,90	21,15	17,65	-7,25	-52,16%	-3,75	-26,98%	3,50	16,55%
B	14	1	31,15	21,40	16,90	9,75	31,30%	14,25	45,75%	4,50	21,03%
C	15	1	15,65	29,65	18,65	-14,00	-89,46%	-3,00	-19,17%	11,00	37,10%
B	16	1	17,90	22,40	13,40	-4,50	-25,14%	4,50	25,14%	9,00	40,18%
B	17	1	33,65	15,90	14,40	17,75	52,75%	19,25	57,21%	1,50	9,43%
C	18	1	12,40	28,65	19,65	-16,25	-131,05%	-7,25	-58,47%	9,00	31,41%
B	19	1	20,65	12,90	19,40	7,75	37,53%	1,25	6,05%	-6,50	-50,39%
C	20	1	22,15	23,65	16,65	-1,50	-6,77%	5,50	24,83%	7,00	29,60%
B	21	1	19,65	13,90	20,40	5,75	29,26%	-0,75	-3,82%	-6,50	-46,76%

Quadro 21: Teste I - Relação custo total para cada tarefa de descarregamento com alocação aleatória, ABC e AHP

CUSTO TOTAL (m)											
Class e	Descarregamento		Distância total percorrida (m)			Redução Aleatório - ABC		Redução Aleatório - AHP		Redução ABC - AHP	
	Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	AHP	(m)	%	(m)	%	(m)	%
C	22	1	22,15	22,65	17,65	-0,50	-2,26%	4,50	20,32%	5,00	22,08%
C	23	1	21,15	21,65	18,65	-0,50	-2,36%	2,50	11,82%	3,00	13,86%
C	24	1	17,15	20,65	19,65	-3,50	-20,41%	-2,50	-14,58%	1,00	4,84%
C	25	1	14,65	19,65	20,65	-5,00	-34,13%	-6,00	-40,96%	-1,00	-5,09%
C	26	1	22,15	18,65	21,65	3,50	15,80%	0,50	2,26%	-3,00	-16,09%
B	27	1	33,15	14,90	21,40	18,25	55,05%	11,75	35,44%	-6,50	-43,62%
			631,30	575,30	542,30	56,00		89,00		33,00	

Quadro 21: Cont. Teste I - Relação custo total para cada tarefa de descarregamento com alocação aleatória, ABC e AHP

TEMPO TOTAL (ms)											
Classe	Descarregamento		Tempo total			Redução Aleatório - ABC		Redução Aleatório - AHP		Redução ABC - AHP	
	Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	AHP	(ms)	%	(ms)	%	(ms)	%
A	1	1	28766	12266	15266	16500	57,36%	13500	46,93%	-3000	-24,46%
C	2	1	26433	27433	26100	-1000	-3,78%	333	1,26%	1333	4,86%
C	3	1	35766	26766	26766	9000	25,16%	9000	25,16%	0	0,00%
A	4	1	30433	12933	12266	17500	57,50%	18167	59,70%	667	5,16%
C	5	1	24766	26100	27433	-1334	-5,39%	-2667	-10,77%	-1333	-5,11%
C	6	1	7600	25433	28100	-17833	-234,64%	-20500	-269,74%	-2667	-10,49%
B	7	1	24100	20266	17266	3834	15,91%	6834	28,36%	3000	14,80%
B	8	1	11266	20933	17933	-9667	-85,81%	-6667	-59,18%	3000	14,33%
A	9	1	30100	13600	12933	16500	54,82%	17167	57,03%	667	4,90%
C	10	1	13933	19766	23766	-5833	-41,86%	-9833	-70,57%	-4000	-20,24%
A	11	1	14933	10266	9600	4667	31,25%	5333	35,71%	666	6,49%
B	12	1	23100	16600	10600	6500	28,14%	12500	54,11%	6000	36,14%
C	13	1	12266	19100	16766	-6834	-55,71%	-4500	-36,69%	2334	12,22%
B	14	1	25766	17266	11266	8500	32,99%	14500	56,28%	6000	34,75%
C	15	1	15433	24766	17433	-9333	-60,47%	-2000	-12,96%	7333	29,61%
B	16	1	15933	17933	10933	-2000	-12,55%	5000	31,38%	7000	39,03%
B	17	1	27433	13600	11600	13833	50,42%	15833	57,72%	2000	14,71%
C	18	1	10266	24100	18100	-13834	-134,76%	-7834	-76,31%	6000	24,90%
B	19	1	19766	8600	14933	11166	56,49%	4833	24,45%	-6333	-73,64%
C	20	1	18766	19766	15100	-1000	-5,33%	3666	19,54%	4666	23,61%
B	21	1	18100	9266	15600	8834	48,81%	2500	13,81%	-6334	-68,36%
C	22	1	18766	19100	15766	-334	-1,78%	3000	15,99%	3334	17,46%

Quadro 22: Teste I - Relação tempo total para cada tarefa de descarregamento com alocação aleatória, ABC e AHP

TEMPO TOTAL (ms)											
Descarregamento			Tempo total			Redução Aleatório - ABC		Redução Aleatório - AHP		Redução ABC - AHP	
Classe	Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	AHP	(ms)	%	(ms)	%	(ms)	%
C	23	1	18100	18433	16433	-333	-1,84%	1667	9,21%	2000	10,85%
C	24	1	15433	17766	17100	-2333	-15,12%	-1667	-10,80%	666	3,75%
C	25	1	13766	17100	17766	-3334	-24,22%	-4000	-29,06%	-666	-3,89%
C	26	1	18766	16433	18433	2333	12,43%	333	1,77%	-2000	-12,17%
B	27	1	28100	9933	16266	18167	64,65%	11834	42,11%	-6333	-63,76%
			547856	485524	461524	62332		86332		24000	

Quadro 22: Cont. Teste I - Relação tempo total para cada tarefa de descarregamento com alocação aleatória, ABC e AHP

CUSTO TOTAL (m)						
Descarregamento			Distância total percorrida (m)		Redução Aleatório - ABC	
Classe	Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	(m)	%
A	1	1	34,15	12,40	21,75	63,69%
A	4	1	36,65	13,40	23,25	63,44%
A	9	1	36,15	14,40	21,75	60,17%
A	11	1	17,90	12,40	5,50	30,73%
			124,85	52,60	72,25	

Quadro 23: Teste I - Dados custo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe A

CUSTO TOTAL (m)					
Descarregamento		Distância total percorrida (m)		Redução Aleatório - ABC	
Classe	Número de paletes	Aleatório	ABC	(m)	%
A	4	124,85	52,60	72,25	57,87%

Quadro 24: Teste I - Somatório dos dados custo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe A

TEMPO TOTAL (ms)						
Descarregamento			Tempo total (ms)		Redução Aleatório - ABC	
Classe	Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	(ms)	%
A	1	1	28766	12266	16500	57,36%
A	4	1	30433	12933	17500	57,50%
A	9	1	30100	13600	16500	54,82%
A	11	1	14933	10266	4667	31,25%
			104232	49065	55167	

Quadro 25: Teste I - Dados tempo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe A

TEMPO TOTAL (ms)					
Descarregamento		Tempo Total (ms)		Redução Aleatório - ABC	
Classe	Número de paletes	Aleatório	ABC	(ms)	%
A	4	104232	49065	55167	52,93%

Quadro 26: Teste I - Somatório dos dados tempo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe A

CUSTO TOTAL (m)						
Descarregamento			Distância total percorrida (m)		Redução Aleatório - ABC	
Classe	Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	(m)	%
B	7	1	27,15	24,40	2,75	10,13%
B	8	1	13,90	25,40	-11,50	-82,73%
B	12	1	27,15	20,40	6,75	24,86%
B	14	1	31,15	21,40	9,75	31,30%
B	16	1	17,90	22,40	-4,50	-25,14%
B	17	1	33,65	15,90	17,75	52,75%
B	19	1	20,65	12,90	7,75	37,53%
B	21	1	19,65	13,90	5,75	29,26%
B	27	1	33,15	14,90	18,25	55,05%
			224,35	171,60	52,75	

Quadro 27: Teste I - Dados custo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe B

CUSTO TOTAL (m)					
Descarregamento		Distância total percorrida (m)		Redução Aleatório - ABC	
Classe	Número de paletes	Aleatório	ABC	(m)	%
B	9	224,35	171,60	52,75	23,51%

Quadro 28: Teste I - Somatório dos dados custo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe B

TEMPO TOTAL (ms)						
Descarregamento			Tempo total (ms)		Redução Aleatório - ABC	
Classe	Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	(metros)	%
B	7	1	24100	20266	3834	15,91%
B	8	1	11266	20933	-9667	-85,81%
B	12	1	23100	16600	6500	28,14%
B	14	1	25766	17266	8500	32,99%
B	16	1	15933	17933	-2000	-12,55%
B	17	1	27433	13600	13833	50,42%
B	19	1	19766	8600	11166	56,49%
B	21	1	18100	9266	8834	48,81%
B	27	1	28100	9933	18167	64,65%
			193564	134397	59167	

Quadro 29: Teste I - Dados tempo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe B

TEMPO TOTAL (ms)					
Descarregamento		Tempo Total (ms)		Redução Aleatório - ABC	
Classe	Número de paletes	Aleatório	ABC	(ms)	%
B	9	193564	134397	59167	30,57%

Quadro 30: Teste I - Somatório dos dados tempo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe B

CUSTO TOTAL (m)						
Descarregamento			Distância total percorrida (m)		Redução Aleatório - ABC	
Classe	Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	(m)	%
C	2	1	30,65	32,15	-1,50	-4,89%
C	3	1	38,65	31,15	7,50	19,40%
C	5	1	28,15	30,15	-2,00	-7,10%
C	6	1	8,40	29,15	-20,75	-247,02%
C	10	1	14,90	22,15	-7,25	-48,66%
C	13	1	13,90	21,15	-7,25	-52,16%
C	15	1	15,65	29,65	-14,00	-89,46%
C	18	1	12,40	28,65	-16,25	-131,05%
C	20	1	22,15	23,65	-1,50	-6,77%
C	22	1	22,15	22,65	-0,50	-2,26%
C	23	1	21,15	21,65	-0,50	-2,36%
C	24	1	17,15	20,65	-3,50	-20,41%
C	25	1	14,65	19,65	-5,00	-34,13%
C	26	1	22,15	18,65	3,50	15,80%
			282,10	351,10	-69,00	

Quadro 31: Teste I - Dados custo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe C

CUSTO TOTAL (m)					
Descarregamento		Distância total percorrida (m)		Redução Aleatório - ABC	
Classe	Número de paletes	Aleatório	ABC	(m)	%
C	14	282,10	351,10	-69,00	-24,46%

Quadro 32: Teste I - Somatório dos dados custo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe C

TEMPO TOTAL (ms)						
Classe	Descarregamento		Tempo total (ms)		Redução Aleatório - ABC	
	Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	(ms)	%
C	2	1	26433	27433	-1000	-3,78%
C	3	1	35766	26766	9000	25,16%
C	5	1	24766	26100	-1334	-5,39%
C	6	1	7600	25433	-17833	-234,64%
C	10	1	13933	19766	-5833	-41,86%
C	13	1	12266	19100	-6834	-55,71%
C	15	1	15433	24766	-9333	-60,47%
C	18	1	10266	24100	-13834	-134,76%
C	20	1	18766	19766	-1000	-5,33%
C	22	1	18766	19100	-334	-1,78%
C	23	1	18100	18433	-333	-1,84%
C	24	1	15433	17766	-2333	-15,12%
C	25	1	13766	17100	-3334	-24,22%
C	26	1	18766	16433	2333	12,43%
			250060	302062	-52002	

Quadro 33: Teste I - Dados tempo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe C

TEMPO TOTAL (ms)					
Descarregamento		Tempo Total (ms)		Redução Aleatório - ABC	
Classe	Número de paletes	Aleatório	ABC	(ms)	%
C	14	250060	302062	-52002	-20,80%

Quadro 34: Teste I - Somatório dos dados tempo total da tarefa de descarregamento para método ABC classe C

De acordo com o Quadros 35 e 36, pode-se observar que os produtos que possuem maior representação na movimentação financeira, segundo o método da Curva ABC (80% da movimentação financeira é representada pelos itens pertencentes a Classe A) foram os que obtiveram maior otimização para suas novas posições no armazém, tanto pra redução de distância quanto de tempo de execução.

Os itens referentes à classe B também obtiveram grande otimização em relação à sua alocação anterior de maneira aleatória, porém os itens classificados como classe C tiveram um aumento em relação ao custo total e tempo total, isso é causado devido a área designada para esta classe ser a mais distante da área de expedição e pelo fato de que a classe C, segundo o princípio de Pareto, possui 80% dos itens do armazém e representa 20% da movimentação financeira. É importante ressaltar que mesmo que a classe C obteve-se aumento para custo total e tempo total, na somatória das classes, conforme mostra o quadro 39, obteve-se uma otimização considerável, já que este teste executa apenas 27 tarefas.

Os Quadros 37 e 38 apresentam os somatórios para custo total e tempo total para as 27 tarefas executadas com relação aos tipos de alocação aleatório, ABC e AHP.

Vale lembrar que o armazém é dinâmico e não opera com posições fixas, e sim com a classificação dos itens pelo método ABC e AHP, para assim designá-los às áreas determinadas para cada classe/hierarquia vide na seção 5.3 e 5.4.

CUSTO TOTAL (m)										
Descarregamento		Custo Total (m)			Redução Aleatório - ABC		Redução Aleatório - AHP		Redução ABC - AHP	
Classe	Número de paletes	Aleatório	ABC	AHP	(m)	%	(m)	%	(m)	%
A	4	12485	5260	5410	7225	57,87%	7075	56,67%	-150	-2,85%
B	9	22435	17160	16260	5275	23,51%	6175	27,52%	900	5,24%
C	14	28210	35110	32560	-6900	-24,46%	-4350	-15,42%	2550	7,26%
	27	63130	57530	54230	5600		8900		3300	

Quadro 35: Teste I - Somatório da redução/acrécimo para custo total por classe.

TEMPO TOTAL (ms)										
Descarregamento		Custo Total			Redução Aleatório - ABC		Redução Aleatório - AHP		Redução ABC - AHP	
Classe	Número de paletes	Aleatório	ABC	AHP	(ms)	%	(ms)	%	(ms)	%
A	4	104232	49065	50065	55167	52,93%	54167	51,97%	-1000	-2,04%
B	9	193564	134397	126397	59167	30,57%	67167	34,70%	8000	5,95%
C	14	297796	183462	176462	114334	38,39%	121334	40,74%	7000	3,82%
	27	595592	366924	352924	228668		242668		14000	

Quadro 36: Teste I - Somatório da redução/acrécimo para tempo total por classe.

CUSTO TOTAL (m)										
Descarregamento		Distância total percorrida			Redução Aleatório - ABC		Redução Aleatório - AHP		Redução ABC - AHP	
Número Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	AHP	(m)	%	(m)	%	(m)	%
13	27	631,30	575,30	542,30	56,00	8,87%	89,00	14,10%	33,00	5,74%

Quadro 37: Teste I - Somatório da redução/acrécimo para custo total

TEMPO TOTAL (ms)										
Descarregamento		Tempo Total			Redução Aleatório - ABC		Redução Aleatório - AHP		Redução ABC - AHP	
Número Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	AHP	(ms)	%	(ms)	%	(ms)	%
13	27	547856	485524	461524	623,32	11,38%	863,32	15,76%	240,00	11,38%

Quadro 38: Teste I - Somatório da redução/acrécimo para tempo total

Visando esclarecer e ilustrar as simulações referentes ao Teste I, a Figura 15 apresenta os produtos alocados aleatoriamente, já a Figura 16 ilustra o posicionamento referente ao Método ABC e a Figura 17 baseia-se na ferramenta AHP de acordo com o Quadro 20.

D1		D11	E1		E11	F1		F11	G1		G11	H1		H11	I1		I11	
D2		D12	E2		E12	F2		F12	G2		G12	H2		H12	I2		I12	
D3		D13	E3		E13	F3		F13	G3		G13	H3		H13	I3		I13	
D4		D14	E4		E14	F4		F14	G4		G14	H4		H14	I4		I14	
D5		D15	E5		E15	F5		F15	G5		G15	H5		H15	I5		I15	
D6		D16	E6		E16	F6		F16	G6		G16	H6		H16	I6		I16	
D7		D17	E7		E17	F7		F17	G7		G17	H7		H17	I7		I17	
D8		D18	E8		E18	F8		F18	G8		G18	H8		H18	I8		I18	
D9		D19	E9		E19	F9		F19	G9		G19	H9		H19	I9		I19	
D10		D20	E10		E20	F10		F20	G10		G20	H10		H20	I10		I20	
C16		C8	B16		B8	A16		A8										
C15		C7	B15		B7	A15		A7										
C14		C6	B14		B6	A14		A6										
C13		C5	B13		B5	A13		A5		33	32	31	21	20	19	9	8	7
C12		C4	B12		B4	A12		A4		30	29	28	18	17	16	6	5	4
C11		C3	B11		B3	A11		A3		27	26	25	15	14	13	3	2	1
C10		C2	B10		B2	A10		A2		Doca 3			Doca 2			Doca 1		
C9		C1	B9		B1	A9		A1										

Figura 15: Teste alocação de produtos no armazém de maneira aleatória.

Fonte: Adaptado de Vivaldini 2012

Figura 16: Teste alocação de produtos no armazém baseado no ABC.
Fonte: Adaptado de Vivaldini 2012

Figura 17: Teste alocação de produtos no armazém utilizando o AHP.
Fonte: Adaptado de Vivaldini 2012

6.3. TESTE II

Para o teste II realizou-se 20 testes, sendo 540 tarefas para cada tipo de alocação, aleatória, ABC e AHP, totalizando 1620 tarefas. Cada teste executado compreendeu com a execução de 27 tarefas, sendo 13 testes para carregamento, ou seja, retirar o palete da prateleira e levá-lo para doca e 13 testes para descarregamento de caminhão, ou seja, transportar o palete da doca para prateleira.

Conforme pode ser visto no Quadro 39, para as atividades de carregamento e descarregamento de caminhão, foram obtidas consideráveis reduções tanto na distância percorrida quanto para o tempo de execução das tarefas. Os 20 testes realizados por meio de simulação encontra-se no Apêndice 3, nos Quadros 40 a 83

	Descarregamento		Carregamento	
	Custo Total (m)	Tempo total (ms)	Custo Total (m)	Tempo total (ms)
Redução Aleatório - ABC	8,42%	8,43%	1,96%	0,18%
Redução Aleatório - AHP	12,81%	13,47%	3,06%	4,42%
Redução AHP - ABC	4,39%	5,04%	1,10%	4,24%

Quadro 39: Teste II - Somatório da otimização para alocação aleatória, ABC e AHP

Analisando o Quadro 39, obtêm-se que a ferramenta que obteve a maior otimização com relação ao posicionamento com base na alocação aleatória, foi o AHP. O resultado da simulação é válido por meio da aplicação teórica do AHP na seção 5.2, que priorizou a aplicação AHP em relação ao ABC.

As Figuras 18 e 20, a seguir, ilustram as distâncias percorridas para descarregamento e carregamento para as alocações propostas (aleatória, ABC e AHP). Já as Figuras 19 e 21, mostram o tempo total para execução das tarefas.

Figura 18: Teste II – Gráfico custo total das tarefas de descarregamento para as alocações propostas

Figura 19: Teste II – Gráfico tempo total das tarefas de descarregamento para as alocações propostas

Figura 20: Teste II – Gráfico custo total das tarefas de carregamento para as alocações propostas

Figura 21: Teste II – Gráfico tempo total das tarefas de carregamento para as alocações propostas

Como pode ser observado a redução de distâncias ocorre porque os itens são alocados de acordo com sua representação na movimentação financeira da empresa. A aplicação do Sistema Proposto implicará em um melhor fluxo no armazém, garantindo que não haja movimentações desnecessárias de cargas e equipamentos de manuseio de materiais.

6.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentados os testes, realizados por meio de simulações em linguagem C. Ambos os testes obtiveram otimização para o posicionamento de produtos acabados em armazéns inteligentes, tanto pra o carregamento quanto para o descarregamento, algumas tarefas apresentaram aumento da distância percorrida, porém ao final de cada teste e no geral a otimização foi alcançada.

A otimização para o posicionamento foi alcançada, já que por meio das simulações obtiveram-se significativas reduções para o tempo de execução da tarefa e das distâncias percorridas, desta forma os custos com equipamentos de manuseio de materiais serão reduzidos, já que por meio do Sistema Proposto as atividades serão executadas com maior agilidade e eficiência. Vale ressaltar também que a redução do tempo de execução das tarefas, poderá implicar em um menor número de mão de obra ou AGVs necessários.

Com isso, o objetivo da presente dissertação é alcançado, ou seja, a proposta mostrou-se viável, aplicável e garantiu uma otimização do posicionamento de produtos acabados em armazéns inteligentes, já que a proposta da aplicação do método ABC e AHP reduziram as

distâncias percorridas, bem como o tempo de atendimento ao pedido, porém a aplicação AHP atingiu maior otimização em comparação ao ABC.

CONCLUSÕES

A contribuição deste projeto nas pesquisas em desenvolvimento no LabRoM (*Laboratório de Robótica Móvel*) foi fornecer embasamento teórico para aplicação de otimização de posicionamento de produtos em estoque com foco na minimização de custos em operações no ambiente de armazenagem utilizando AGVs (*Automated Guided Vehicles*).

O tema é de grande relevância no âmbito de melhoria das condições de armazenagem, visto que é uma abordagem em desenvolvimento e com baixa difusão nacional. A presente pesquisa levantou alguns aspectos teóricos referentes a gestão da armazenagem, para assim propor um Sistema para classificar/hierarquizar o portfólio da empresa. Para esta abordagem o Sistema Proposto baseou-se em técnicas encontradas na literatura, após está análise, adotou-se os métodos AHP e ABC.

Nesta pesquisa, buscou-se mostrar os principais cálculos realizados para o AHP durante a análise, visando propiciar o entendimento adequado da técnica. Para os cálculos matemáticos utilizou-se um algoritmo integrado ao Sistema Proposto. O AHP foi utilizado de duas maneiras, sendo, a primeira, aplicado na sua forma pura, ou seja, para hierarquizar o portfólio por meio da característica (critério) priorizada, e a segunda aplicação consistiu em propor um arranjo de posições disponíveis para cada hierarquia no layout. O método da curva ABC foi aplicado com o mesmo ideal, ou seja, primeiramente a fim de, estabelecer os produtos pertencentes a cada classe e posteriormente propor um arranjo com as áreas designadas para cada classe.

As etapas de desenvolvimento do projeto contemplaram: a classificação dos produtos acabados com maior representação na movimentação financeira da empresa de acordo com o método ABC; a priorização de determinados itens em relação aos demais, com a aplicação da ferramenta multicritério AHP para selecionar qual característica priorizar, tais como: movimentação financeira, demanda e sazonalidade.

Esta dissertação tinha como objetivo além de implementar as ferramentas existentes na literatura, aplicar o estudo em uma empresa de médio porte, porém a parceria não pôde ser consolidada, já que a empresa passou por uma grande reestruturação de funcionários e

políticas de “liberação de dados”. Assim, a mestranda em conjunto com o LabRoM, optaram por gerar os dados, por meio de um programa computacional, a fim de estabelecer o fluxo de entradas e saídas do armazém.

Por fim, foi realizada uma análise comparativa da classificação dos produtos, alocação aleatória, com base no ABC e AHP, onde o Sistema Proposto foi julgado eficiente e a ferramenta computacional foi validada. Com análise dos resultados é constatada a otimização do posicionamento dos produtos no armazém, já que tanto as distâncias percorridas, quanto o tempo de atendimento ao pedido foram reduzidos.

Como trabalhos futuros pode-se citar a aplicação do Sistema Proposto em uma empresa, bem como a integração do mesmo com técnicas para determinar melhorias no *layout*, de acordo com as necessidades de um armazém inteligente.

REFERÊNCIAS

- ARNOLD, J. R. T. (1999). **Administração de materiais**: uma introdução. São Paulo: Atlas.
- ASKIN, R. G.; STANDRIDGE, C. R. (1993). **Modeling and analysis of manufacturing systems**. New York: John Wiley and Sons.
- ATAMANCZUK, M. J. (2009). **Modelo de arranjo físico de armazém baseado em classificação de estoque de supermercado**. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2009.
- BAKER P.; CANESSA, M. (2009). Warehouse design: a structured approach. **European Journal of Operational Research**, v. 193, p. 425-436.
- BALLOU, H. (2007). **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/ logística empresarial**. Porto Alegre: Bookman.
- _____. (1993). **Logística empresarial**: transportes, administração de materiais e distribuição física. Editora Atlas: São Paulo.
- _____. (1995). _____. São Paulo: Atlas.
- BANZATO, E. (2004). **Sistemas de controle e gerenciamento do armazém (WMS)**. Disponível em: <<http://www.guiadelogistica.com.br/ARTIGO261.htm>>. Acesso em: 11 set. 2011.
- BEKER, I.; JEVTIĆ, V.; DOBRILOVIĆ, D. (2012) Shortest-path algorithms as a tools for inner transportation optimization. **International Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 3, n. 1, p. 39-45.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. (2001). **Logística empresarial**: o processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas
- BOWERSOX, D.; CLOSS, D.; COOPER, M. B. (2007). **Supply Chain Logistics Management: Operations and Decision Sciences**. New York: McGraw-Hill.

- BRAGA, L. M.; PIMENTA, C. M.; VIEIRA, J. G. V. (2008). Gestão de armazenagem em um supermercado de pequeno porte. **Revista P&D em Engenharia de Produção**, n. 8, p. 57-77. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/104117902/n08-art04>>. Acesso em: 22 dez. 2012.
- CARLO, H. J.; GIRALDO, G. E. (2010). Optimizing the rearrangement process in a dedicated warehouse. In: ELLIS, K.P. et al. **Progress in material handling research**. Material Handling Industry of America: Charlotte. p. 39-48.
- CARVALHO, L. S. (2010a). **Modelagem e simulação: poderosa ferramenta para a otimização de operações logísticas**. Salvador: SENAI-CIMATEC.
- _____. (2010b). **Poderosa ferramenta para a otimização de operações logísticas**. Salvador: SENAI-CIMATEC
- CHIYOSHI, F.; GALVÃO, R. D.; MORABITO, R. (2000). O uso do modelo hipercubo na solução de problemas de localização probabilísticos. **Revista Gestão & Produção**. v.7, n.2, p. 146-174, ago.
- CHRISTOPHER, M. (2007). **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 2ª ed. São Paulo: Pioneira.
- CLM - Council of Logistics Management. (1986). What's all about? Oak brook. Disponível em: <<http://cscmp.org/>>. Acesso em: 10 jun. 2011.
- COUNCIL of supply chain management professionals. (2010). The world's leading source for the supply chain profession. Disponível em: <<http://cscmp.org/>>. Acesso em: 12 nov. 2010.
- CUTTI, J. A. (2009). **Logística de armazenagem e movimentação de materiais**. Porto Alegre.
- DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. (1997). **Fundamentos da administração da produção**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman.
- DIAS, M. A. P. (1993). **Administração de materiais: uma abordagem logística**. São Paulo: Atlas.

- FALKENBERG, A. V. (2005). **Previsão de consumo urbano de água em curto prazo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- FREIRE, G. (2008). **Logística interna como ferramenta de competição**. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia.
- FREITAS, F. F. T. *et al.* (2006). Otimização das operações de movimentação e armazenagem de materiais através de rearranjo físico: uma proposta de melhoria para um almoxarifado da esfera pública In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2006.
- GERKEY B.; VAUGHAN, R. T.; HOWARD, A. (2003) The player/stage project: tools for multi-robot and distributed sensor systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED ROBOTICS, 11., Coimbra. **Proceedings...** Portugal: University of Coimbra, 2003. p. 317-323.
- GOMES, C. F. S.; RIBEIRO, P. C. C. (2004) **Gestão da cadeia de suprimentos**: integrada à tecnologia de informação. São Paulo: Thompson.
- GOUVINHAS, R. P. *et al.* (2005). A importância do planejamento físico na otimização do processo de armazenagem: um estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., Porto Alegre. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2005.
- GRANEMANN, S. R.; GARTNER, I. R. (1998). Seleção de financiamento para aquisição de aeronaves: uma aplicação do método de análise hierárquica (AHP). **Revista Transportes**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 18-40.
- GROSSMANN, I. E. (2005), Enterprise wide optimization: a new frontier in process systems engineering, **AIChE Journal**, n. 51, p. 1846.
- GU, J. X.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F. (2005). **Warehouse design and performance evaluation a comprehensive review**. Working Paper, Virtual Factory Laboratory, Georgia Institute of Technology.
- _____. (2007). Research on warehouse operation: a comprehensive review. **European Journal of Operational Research**, v.177, p.1-21.
- HUISKONEM, J.; NIEMI, P.; PIRTILÄ, T. (2003). An approach to link customer characteristics to inventory decision making. **International Journal of Production Economics**, v. 81/82, p. 255-264.

- JAHN, B; CERVELLI, L. F.; CUNHA, A. A (1999) Armazenagem, principais atividades e tecnologias envolvidas. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1999_a0457.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2012.
- JING-WEN, Z.; TIE-JUN, C. (2009). The Research of Improving ABC classification of inventory management based on AHP. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING MANAGEMENT AND SERVICE SCIENCE, Beijin. **Proceedings...** Beijin, 2009.
- KLIMM M. *et al.* (2007). Conflict-free vehicle routing: load balancing and deadlock prevention. (Technical Report). Disponível em: <http://www.matheon.de/preprints/5137_preprint-static-routing.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2012.
- LOURENÇO, K. G.; CASTILHO, V. (2006). Classificação ABC dos materiais: uma ferramenta gerencial de custos em enfermagem. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 59, n. 1, p. 52-55, jan./fev
- MAGALHÃES, A. P. S. (2011). **Logística reversa de eletrodomésticos da linha branca: processo de escolha pelo método da análise hierárquica** (Dissertação de Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- MARTINS, P. G.; ALT, P. R. C. (2001). **Administração de materiais e recursos patrimoniais**. São Paulo: Saraiva.
- MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. (2002). **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva.
- MOUNTZ, M. (2010). Using distribution and fulfillment as strategic weapons. Kiva Systems. Disponível em: <http://www.kivasystems.com/2012/dcv_120x300/>. Acesso em: 03 dez. 2012.
- MOURA, R. A. (1997). **Aplicações práticas de equipamentos de movimentação**. São Paulo: IMAM. v. 5.
- _____. (2002). Logística, movimentação e armazenagem de materiais. **Guia do visitante da MOVIMAT**, ano 23, n. 143, p. 6, set.

- _____. (1992). **Manual de movimentação de materiais**. 3. ed. São Paulo: Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais. v. 1.
- _____. (2005). **Sistemas e técnicas de movimentação e armazenagem de materiais**. 4. ed. São Paulo: IMAM. (Série Manual de Logística, 5).
- MURPHY, T. (2002). **Achieving business value from technology: a practical guide for today's executive**. New Jersey: John Wiley & Sons.
- NOGUEIRA, A. (2009). A Importância da TI nos Processos Logísticos. Tecnologia da Informação: a base sólida dos processos logísticos. **Revista Mundo Logística**. Disponível em: <<http://www.revistamundologistica.com.br>>. Acesso em: 15 jan. 2010.
- ODAN, F. K. (2010). **Previsão de demanda para sistema de abastecimento de água**. 77f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- ODPM (Office of the Deputy Prime Minister Government UK, 2004). DTLR multi-criteria analysis manual. Corporate Publication. Disponível em: <<http://www.communities.gov.uk/index.asp?id=1142251>>. Acesso em: 23 abr. 2011.
- OLIVEIRA, D. F.; TINELLI, L. M.; BECKER, M. (2011). Abordagens para uma eficiente gestão de estoques. In: Congresso de Iniciação Científica, 14., São Carlos. **Anais...** São Carlos. 2011.
- OLIVEIRA, D. F. *et al.* (2011). Aplicação do método AHP para realocação de produtos em sistemas logísticos. Resumo. XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SBPO - Ubatuba/SP.
- OLIVEIRA, S.; PALETTA, M. A. (2010). Tecnologia da Informação aplicada na logística. **Inteligência em Gestão Logística**, n. 17.
- OLMI, R.; SECCHI, C.; FANTUZZI, C. (2008) Coordination of multiple AGVs in an industrial application. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION, Pasadena. **Proceedings...** New York: IEEE. p. 1916-1921, may 19-23.
- ONÜT, S; TUZKAYA, U. R.; DOGAC, B. (2008). A particle swarm optimization algorithm for the multiple-level warehouse layout design problem. **Computers & Industrial Engineering**, v. 54, p. 783-799.

- PALETTA, M. A.; SILVA, A. G. (2003). **Otimizando o layout do armazém através da movimentação eficiente de materiais**. Material Institucional da Faculdade de Tecnologia Prof. Luiz Rosa e Centro Universitário Padre Anchieta. 15p.
- PARADA NETO, R. (2010). Controle de estoques e criticidade. In: Semana de Engenharia de Produção de São Carlos, 7., São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2010.
- PETERSEN, C. G.; AASE, G. R.; HEISER, D. R. Improving order-picking performance: through the implementation of class-based storage. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**. Vol. 34 No. 7, p. 534-544, 2004.
- PINO, F. A. *et al.* (1994). Sazonalidade em séries temporais econômicas: um levantamento sobre o estado da arte. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 41, n. 3, p. 103-133.
- PORTER, M. E. (1986). **Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. Rio de Janeiro: Campus.
- QUEIROZ, A. A.; CAVALHEIRO, D. (2003). Método de previsão de demanda e detecção de sazonalidade para o planejamento da produção de indústrias de alimentos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto.
- RABBANI, S. J. R.; RABBANI, S. R. (1996). **Decisions in transportation with the analytic hierarchy process**. Campina Grande: UFPB/CCT.
- RAMANATHAN, R. (2004). ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization. **Computers & Operations Research**, v. 33, n. 3, p. 695-700.
- RAVIZZA, S. (2009). **Control of automated guided vehicles (AGVs)**. M.Sc. (Thesis) - Eidgenössische Technische Hochschule Zurich, Zurich, Switzerland.
- RIBEIRO, P. C. C.; SILVA, L. A. F.; BENVENUTO, S. R. S. (2006). O uso de tecnologia da informação em serviços de armazenagem. **Produção**, v. 16, n. 3, p. 526-537, set./dez.
- ROCLA (2012). AGV - Automated Guided Vehicles. Disponível em: <<http://www.rocla.com/productlist.asp?Section=477>>. Acesso: 20 abr. 2012.

- ROODBERGEN, K. J.; DE KOSTER, R.; (2001). Routing Order Pickers in a Warehouse with a Middle Aisle. **European Journal of Operational Research**, v. 133, n. 1, p. 32-43, aug.
- ROWLEY, J. (Ed.). (2000). **The Principles of Warehouse Design**. The Institute of Logistics and Transport, Corby.
- SAATY, R. W. (1987). The Analytic Hierarchy Process: what it is and how it is used? **Mathematical Modelling**, Great Britain, v. 9, n. 3-5, p. 161-176.
- SAATY, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, North Holland, v. 48, n. 1, p. 9-26.
- _____. (1991). **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: Makron.
- _____. (2008a). Decision making with the Analytic Hierarchy Process. **Int. J. Services Sciences**, Pittsburgh, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.
- _____. (2008b). **Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process**. Disponível em: <<http://www.rac.es/ficheros/doc/00576.PDF>>. Acesso em: 20 abr. 2012.
- SAATY, T.; VARGAS, L. G. (2001). **Models, methods, concepts and applications of the analytic hierarchy process**. Kluwer: Boston.
- SANTOS, A. M.; RODRIGUES, I. A. (2006). Controle de estoque de materiais com diferentes padrões de demanda: estudo de caso em uma indústria química. **Gestão & Produção**, v. 13, n. 2, p. 223-231, maio/ago.
- SARKER, B. R.; DIPONEGORO, A. (2009). Optimal production plans and shipment schedules in a supplychain system with multiple suppliers and multiple buyers. **European Journal of Operational Research**, v. 194, n. 3, p. 753-773.
- SHIMIZU, T. (2001). **Decisão nas organizações**: introdução aos problemas de decisão encontrados nas organizações e nos sistemas de apoio à decisão. São Paulo: Atlas.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. (2002). **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas.

- _____. (1999). **Administração da produção**. Revisão técnica: Henrique Corrêa, Irineu Giansesi. Edição compacta. São Paulo: Atlas.
- _____. (2000). **Operations management**. 3. ed. New York: Prentice Hall.
- SOUSA, R.; SHAH, N.; PAPAGEORGIOU, L. (2008). Supply chain design and multilevel planning: an industrial case. **Computers & Chemical Engineering**, v. 32, n. 11, p. 2643-2663.
- STURMER, M. (2004). **Sistema de controle e navegação para robôs móveis autônomos em ambientes de armazenagem**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Informática) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos: Universidade Jesuíta do RS/Brasil, São Leopoldo, 2004.
- TINELLI, L. M.; VIVALDINI, K. C. T.; BECKER, M. (2010). Otimização de Armazéns Inteligentes em Relação ao Posicionamento de Produtos Estocados Referente a Demanda Sazonal. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISADORES, 9., São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2010.
- _____. (2011). Product positioning optimization using the ABC method. In: 21st BRAZILIAN CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 21., Natal. **Proceedings...** Natal: COBEM, 2011.
- TRIANTAPHYLLOU, E. (2002). **Multi-criteria decision making methods**: a comparative study. New York: Springer.
- TUJI Jr., A. *et al.* (2004). Dimensionamento do estoque para uma micro empresa do setor alimentício utilizando como ferramenta de apoio a curva ABC. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 24., Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2004.
- VAN DEN BERG, J. P. (1999). A literature survey on planning and control of warehousing systems. **IIE Transactions**, v. 31, n. 8, p. 751.
- VARGAS, R. V. (2010). Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process - AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas.
- VARMA, V. A. *et al.* (2007). Enterprise wide modeling & optimization: An overview of emerging research challenges and opportunities, **Computers and Chemical Engineering**, v. 31, p. 692.

- VERÍSSIMO, N.; MUSETTI, M. A. (2003). A tecnologia de informação na gestão de armazenagem. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., Ouro Preto. **Anais...** Fortaleza: UFC.
- VIVALDINI, K. C. T. (2010). **Roteamento automático de empilhadeiras robóticas em armazém inteligente**. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.
- _____. (2012). **Armazéns inteligentes - uma solução mecatrônica para sistemas de manuseio, estoque e distribuição de bens**. Tese (Qualificação de Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.
- WALLIS, K. F.; THOMAS, J. J. (1971), Seasonal variation in regression analysis, **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 134, n. 1, p. 57-72.
- WERC, W. (2003). WMS in warehouse productivity. **Warehouse Education and Research Council**, p. 1-7.
- XU, J. *et al.* (2008). A heuristic method for online warehouse storage assignment problem. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4682840&isnumber=4682741>. Acesso em: 12 mar. 2012.
- YOU, F.; GROSSMANN, I. E. (2008), Design of responsive supply chains under demand uncertainty, **Computers and Chemical Engineering**, v. 32, n., 12, p. 3090-3111.
- ZHANGA, G. Q.; LAIB, K. K. (2010). Tabu search approaches for the multi-level warehouse layout problem with adjacency. **Engineering Optimization**, v. 72, n. 8, p. 775-790, aug.

APÊNDICE 1 - DADOS PORTFÓLIO

Portfólio - Teste I		
Código	Demanda	Preço unitário
	(unidade)	(R\$)
1	600	R\$ 55,00
2	280	R\$ 65,00
3	800	R\$ 8,50
4	400	R\$ 8,70
5	1800	R\$ 1,80
6	1800	R\$ 1,20
7	120	R\$ 4,50
8	130	R\$ 3,50
9	320	R\$ 1,10
10	320	R\$ 0,80
11	370	R\$ 0,25
12	150	R\$ 0,40

Quadro 40: Teste I - Relação portfólio analisado

Portfólio - Análise Curva ABC						
Código	Demanda	Preço unitário	Preço total	Custo Acumulado	% acumulada	Classe
	(unidade)	(R\$)	(R\$)	(R\$)	%	
1	600	R\$ 55,00	R\$ 33.000,00	R\$ 33.000,00	48,08%	A
2	280	R\$ 65,00	R\$ 18.200,00	R\$ 51.200,00	74,60%	A
3	800	R\$ 8,50	R\$ 6.800,00	R\$ 58.000,00	84,50%	A
4	400	R\$ 8,70	R\$ 3.480,00	R\$ 61.480,00	89,57%	B
5	1800	R\$ 1,80	R\$ 3.240,00	R\$ 64.720,00	94,30%	B
6	1800	R\$ 1,20	R\$ 2.160,00	R\$ 66.880,00	97,44%	B
7	120	R\$ 4,50	R\$ 540,00	R\$ 67.420,00	98,23%	C
8	130	R\$ 3,50	R\$ 455,00	R\$ 67.875,00	98,89%	C
9	320	R\$ 1,10	R\$ 352,00	R\$ 68.227,00	99,40%	C
10	320	R\$ 0,80	R\$ 256,00	R\$ 68.483,00	99,78%	C
11	370	R\$ 0,25	R\$ 92,50	R\$ 68.575,50	99,91%	C
12	150	R\$ 0,40	R\$ 60,00	R\$ 68.635,50	100,00%	C
	7090		R\$ 68.635,50			

Quadro 41: Teste I - Relação portfólio classificado

Classe	Quantidade de Produtos	% Acumulada	Valor (R\$)	% Acumulada
A	1680	23,70%	58.000,00	84,50%
B	4000	56,42%	8.880,00	12,94%
C	1410	19,89%	1.755,50	2,56%
	7090	100,00%	68.635,50	100,00%

Quadro 42: Teste I - Relação portfólio classificado por classes.

Portfólio - Teste I			
Código	Demanda	Preço unitário	Peso
	(unidade)	(R\$)	(Kg)
1	600	R\$ 55,00	12,00
2	280	R\$ 65,00	15,00
3	800	R\$ 8,50	5,00
4	400	R\$ 8,70	1,00
5	1800	R\$ 1,80	3,20
6	1800	R\$ 1,20	3,00
7	120	R\$ 4,50	1,20
8	130	R\$ 3,50	2,50
9	320	R\$ 1,10	1,50
10	320	R\$ 0,80	1,00
11	370	R\$ 0,25	0,80
12	150	R\$ 0,40	0,75

Quadro 43 Teste I - Relação portfólio para o AHP

APÊNDICE 2 - RESULTADOS TESTE II

Aleatório - ABC					
CUSTO TOTAL (m)					
Descarregamento		Distância total percorrida (m)		Redução	
Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	(m)	%
1	27	618,05	578,55	39,50	6,39%
2	27	736,30	612,30	124,00	16,84%
3	27	652,30	573,55	78,75	12,07%
4	27	682,80	630,80	52,00	7,62%
5	27	625,80	607,30	18,50	2,96%
6	27	662,05	644,55	17,50	2,64%
7	27	671,05	631,55	39,50	5,89%
8	27	683,05	627,80	55,25	8,09%
9	27	648,80	572,80	76,00	11,71%
10	27	631,30	575,30	56,00	8,87%
		6611,50	6054,50	557,00	

Quadro 44: Teste II - Comparação entre a alocação de descarregamento aleatória e ABC para custo total

CUSTO TOTAL (m)					
Descarregamento		Distância total percorrida (m)		Redução	
Número Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	(m)	%
10	270	6611,50	6054,50	557,00	8,42%

Quadro 45: Teste II - Comparação geral entre a alocação de descarregamento aleatória e ABC para custo total

Número Tarefas	Resultado	Porcentagem
10	Positivo	100,00%
0	Negativo	0,00%
10		

Quadro 46: Teste II - Relação resultado de cada Tarefa de descarregamento, se obteve otimização em relação as distâncias percorridas

Aleatório - ABC					
TEMPO TOTAL (ms)					
Descarregamento		Tempo total execução (ms)		Redução	
Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	(m)	%
1	27	538022	504692	33330	6,19%
2	27	632859	529191	103668	16,38%
3	27	557857	485358	72499	13,00%
4	27	587192	535525	51667	8,80%
5	27	537190	521858	15332	2,85%
6	27	562356	548691	13665	2,43%
7	27	577359	543024	34335	5,95%
8	27	577357	556524	20833	3,61%
9	27	557524	486859	70665	12,67%
10	27	547856	485524	62332	11,38%
		5675572	5197246	478326	

Quadro 47: Teste II - Comparação entre a alocação de descarregamento aleatória e ABC para tempo total

TEMPO TOTAL (ms)					
Descarregamento		Tempo total execução (ms)		Redução	
Número Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	(m)	%
10	270	5675572	5197246	478326	8,43%

Quadro 48: Teste II - Comparação geral entre a alocação de descarregamento aleatória e ABC para tempo total

Número Tarefas	Resultado	Porcentagem
10	Positivo	100,00%
0	Negativo	0,00%
10		

Quadro 49: Teste II - Relação resultado de cada tarefa de descarregamento, se obteve otimização em relação ao tempo de execução

Aleatório - ABC					
CUSTO TOTAL (m)					
Carregamento		Distância total percorrida (m)		Redução	
Task	Número de paletes	Aleatório	ABC	(m)	%
11	27	773,70	681,70	92,00	11,89%
12	27	801,20	668,70	132,50	16,54%
13	27	672,20	693,45	-21,25	-3,16%
14	27	660,45	699,45	-39,00	-5,91%
15	27	720,45	695,70	24,75	3,44%
16	27	715,45	751,45	-36,00	-5,03%
17	27	706,20	698,70	7,50	1,06%
18	27	724,70	730,95	-6,25	-0,86%
19	27	733,70	752,45	-18,75	-2,56%
20	27	765,45	758,70	6,75	0,88%
		7273,50	7131,25	142,25	

Quadro 50: Teste II - Comparação entre a alocação para carregamento aleatória e ABC para custo total

CUSTO TOTAL (m)					
Carregamento		Distância total percorrida (m)		Redução	
Número Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	(m)	%
10	270	7273,50	7131,25	142,25	1,96%

Quadro 51: Teste II - Comparação geral entre a alocação de carregamento aleatória e ABC para custo total

Número Tarefas	Resultado	Porcentagem
5	Positivo	50,00%
5	Negativo	50,00%
10		

Quadro 52: Teste II - Relação resultado de cada Tarefa de carregamento, se obteve otimização em relação às distâncias percorridas

Aleatório - ABC					
TEMPO TOTAL (ms)					
Carregamento		Tempo total execução (ms)		Redução	
Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	(m)	%
11	27	650790	600458	50332	7,73%
12	27	668123	532788	135335	20,26%
13	27	560123	605289	-45166	-8,06%
14	27	555293	608291	-52998	-9,54%
15	27	604289	599792	4497	0,74%
16	27	599957	610957	-11000	-1,83%
17	27	578789	614790	-36001	-6,22%
18	27	606124	612292	-6168	-1,02%
19	27	619123	637626	-18503	-2,99%
20	27	633292	642791	-9499	-1,50%
		6075903	6065074	10829	

Quadro 53: Teste II - Comparação entre a alocação de carregamento aleatória e ABC para tempo total

TEMPO TOTAL (ms)					
Carregamento		Tempo total execução (ms)		Redução	
Número Tarefa	Número de paletes	Aleatório	ABC	(m)	%
10	270	6075903	6065074	10829	0,18%

Quadro 54: Teste II - Comparação geral entre a alocação de carregamento aleatória e ABC para tempo total

Número Tarefas	Resultado	Porcentagem
3	Positivo	30,00%
7	Negativo	70,00%
10		

Quadro 55: Teste II - Relação resultado de cada Tarefa de carregamento, se obteve otimização em relação ao tempo de execução

AHP

Aleatório - AHP					
CUSTO TOTAL (m)					
Descarregamento		Distância total percorrida (m)		Redução	
Tarefa	Número de paletes	Aleatório	AHP	(m)	%
1	27	618,05	579,80	38,25	6,19%
2	27	736,30	585,80	150,50	20,44%
3	27	637,30	561,80	75,50	11,85%
4	27	652,30	584,30	68,00	10,42%
5	27	682,80	547,80	135,00	19,77%
6	27	662,05	558,05	104,00	15,71%
7	27	682,55	584,30	98,25	14,39%
8	27	683,05	598,55	84,50	12,37%
9	27	638,55	622,05	16,50	2,58%
10	27	631,30	542,30	89,00	14,10%
		6624,25	5764,75	859,50	

Quadro 56: Teste II - Comparação entre a alocação de descarregamento aleatória e AHP para custo total

CUSTO TOTAL (m)					
Descarregamento		Distância total percorrida (m)		Redução	
Número Tarefa	Número de paletes	Aleatório	AHP	(m)	%
10	270	6624,25	5764,75	859,50	12,98%

Quadro 57: Teste II - Comparação geral entre a alocação de descarregamento aleatória e AHP para custo total

Número Tarefas	Resultado	Porcentagem
10	Positivo	100,00%
0	Negativo	0,00%
10		

Quadro 58: Teste II - Relação resultado de cada Tarefa de descarregamento, se obteve otimização em relação as distâncias percorridas

Aleatório - AHP					
TEMPO TOTAL (ms)					
Descarregamento		Tempo total execução (ms)		Redução	
Tarefa	Número de paletes	Aleatório	AHP	(m)	%
1	27	538022	490525	47497	8,83%
2	27	632859	480524	152335	24,07%
3	27	536855	492525	44330	8,26%
4	27	557857	493524	64333	11,53%
5	27	587192	476192	111000	18,90%
6	27	562356	472025	90331	16,06%
7	27	579024	500524	78500	13,56%
8	27	577357	521024	56333	9,76%
9	27	552690	522690	30000	5,43%
10	27	547856	461524	86332	15,76%
		5672068	4911077	760991	

Quadro 59: Teste II - Comparação entre a alocação de descarregamento aleatória e AHP para tempo total

TEMPO TOTAL (ms)					
Descarregamento		Tempo total execução (ms)		Redução	
Número Tarefa	Número de paletes	Aleatório	AHP	(m)	%
10	270	5672068	4911077	760991	13,42%

Quadro 60: Teste II - Comparação geral entre a alocação de descarregamento aleatória e AHP para tempo total

Número Tarefas	Resultado	Porcentagem
10	Positivo	100,00%
0	Negativo	0,00%
10		

Quadro 61: Teste II - Relação resultado de cada Tarefa de descarregamento, se obteve otimização em relação ao tempo de execução

Aleatório - AHP					
CUSTO TOTAL (m)					
Carregamento		Distância total percorrida (m)		Redução	
Tarefa	Número de paletes	Aleatório	AHP	(m)	%
11	27	773,70	724,95	48,75	6,30%
12	27	665,70	649,45	16,25	2,44%
13	27	801,20	711,45	89,75	11,20%
14	27	720,45	660,20	60,25	8,36%
15	27	715,45	785,45	-70,00	-9,78%
16	27	706,20	669,20	37,00	5,24%
17	27	724,70	663,30	61,40	8,47%
18	27	733,70	731,45	2,25	0,31%
19	27	744,45	782,45	-38,00	-5,10%
20	27	765,45	673,20	92,25	12,05%
		7351,00	7051,10	299,90	

Quadro 62: Teste II - Comparação entre a alocação de carregamento aleatória e AHP para custo total

CUSTO TOTAL (m)					
Carregamento		Distância total percorrida (m)		Redução	
Número Tarefa	Número de paletes	Aleatório	AHP	(m)	%
10	270	7351,00	7051,10	299,90	4,08%

Quadro 63: Teste II - Comparação geral entre a alocação de carregamento aleatória e AHP para custo total

Número Tarefas	Resultado	Porcentagem
8	Positivo	80,00%
2	Negativo	20,00%
10		

Quadro 64: Teste II - Relação resultado de cada Tarefa de carregamento, se obteve otimização em relação as distâncias percorrida

Aleatório - AHP					
TEMPO TOTAL (ms)					
Carregamento		Tempo total execução (ms)		Redução	
Tarefa	Número de paletes	Aleatório	AHP	(ms)	%
11	27	650790	612292	38498	5,92%
12	27	560790	527959	32831	5,85%
13	27	668123	588290	79833	11,95%
14	27	604289	531122	73167	12,11%
15	27	599957	662625	-62668	-10,45%
16	27	578789	542124	36665	6,33%
17	27	606124	536192	69932	11,54%
18	27	619123	600624	18499	2,99%
19	27	617292	661626	-44334	-7,18%
20	27	633292	544792	88500	13,97%
		6138569	5807646	330923	

Quadro 65: Teste II - Comparação entre a alocação de carregamento aleatória e AHP para tempo total

TEMPO TOTAL (ms)					
Carregamento		Tempo total execução (ms)		Redução	
Número Tarefa	Número de paletes	Aleatório	AHP	(m)	%
10	270	6138569	5807646	330923	5,39%

Quadro 66: Teste II - Comparação geral entre a alocação de carregamento aleatória e AHP para tempo total

Número Tarefas	Resultado	Porcentagem
8	Positivo	80,00%
2	Negativo	20,00%
10		

Quadro 67: Teste II - Relação resultado de cada Tarefa de carregamento, se obteve otimização em relação ao tempo de execução

ABC e AHP

ABC - AHP					
CUSTO TOTAL (m)					
Descarregamento		Distância total percorrida (m)		Redução	
Tarefa	Número de paletes	ABC	AHP	(m)	%
1	27	578,55	579,80	-1,25	-0,22%
2	27	612,30	585,80	26,50	4,33%
3	27	606,80	561,80	45,00	7,42%
4	27	630,80	547,80	83,00	13,16%
5	27	607,30	611,30	-4,00	-0,66%
6	27	644,55	558,05	86,50	13,42%
7	27	688,05	584,30	103,75	15,08%
8	27	627,80	598,55	29,25	4,66%
9	27	636,30	622,05	14,25	2,24%
10	27	575,30	542,30	33,00	5,74%
		6207,75	5791,75	416,00	

Quadro 68: Teste II - Comparação entre a alocação de descarregamento ABC e AHP para custo total

CUSTO TOTAL (m)					
Descarregamento		Distância total percorrida (m)		Redução	
Número Tarefa	Número de paletes	ABC	AHP	(m)	%
10	270	6207,75	5791,75	416,00	6,70%

Quadro 69: Teste II - Comparação geral entre a alocação de descarregamento ABC e AHP para custo total

Número Tarefas	Resultados	Porcentagem
8	Positivo	80,00%
2	Negativo	20,00%
10		

Quadro 70: Teste II - Relação resultado de cada tarefa de descarregamento, se obteve otimização em relação as distâncias percorridas

ABC - AHP					
TEMPO TOTAL (ms)					
Descarregamento		Tempo total execução (ms)		Redução	
Tarefa	Número de paletes	ABC	AHP	(m)	%
1	27	504692	490525	14167	2,81%
2	27	529191	480524	48667	9,20%
3	27	540524	492525	47999	8,88%
4	27	535525	476192	59333	11,08%
5	27	521858	518525	3333	0,64%
6	27	548691	472025	76666	13,97%
7	27	593691	500524	93167	15,69%
8	27	556524	521024	35500	6,38%
9	27	550191	522690	27501	5,00%
10	27	485524	461524	24000	4,94%
		5366411	4936078	430333	

Quadro 71: Teste II - Comparação entre a alocação de descarregamento ABC e AHP para tempo total

TEMPO TOTAL (ms)					
Descarregamento		Tempo total execução (ms)		Redução	
Número Tarefa	Número de paletes	ABC	AHP	(m)	%
10	270	5366411	4936078	430333	8,02%

Quadro 72: Teste II - Comparação geral entre a alocação de descarregamento ABC e AHP para tempo total

Número Tarefas	Resultados	Porcentagem
10	Positivo	100,00%
0	Negativo	0,00%
10		

Quadro 73: Teste II - Relação resultado de cada tarefa de descarregamento, se obteve otimização em relação ao tempo de execução

ABC - AHP					
CUSTO TOTAL (m)					
Carregamento		Distância total percorrida (m)		Redução	
Tarefa	Número de paletes	ABC	AHP	(m)	%
11	27	681,70	724,95	-43,25	-6,34%
12	27	711,70	649,45	62,25	8,75%
13	27	695,70	660,20	35,50	5,10%
14	27	751,45	785,45	-34,00	-4,52%
15	27	698,70	669,20	29,50	4,22%
16	27	773,95	771,45	2,50	0,32%
17	27	730,95	663,30	67,65	9,26%
18	27	752,45	731,45	21,00	2,79%
19	27	819,20	782,45	36,75	4,49%
20	27	758,70	673,20	85,50	11,27%
		7374,50	7111,10	263,40	

Quadro 74: Teste II - Comparação entre a alocação de carregamento ABC e AHP para custo total

CUSTO TOTAL (m)					
Carregamento		Distância total percorrida (m)		Redução	
Número Tarefa	Número de paletes	ABC	AHP	(m)	%
10	270	7374,50	7111,10	263,40	3,57%

Quadro 75: Teste II - Comparação geral entre a alocação de carregamento ABC e AHP para custo total

Número Tarefas	Resultados	Porcentagem
8	Positivo	80,00%
2	Negativo	20,00%
10		

Quadro 76: Teste II - Relação resultado de cada tarefa de carregamento, se obteve otimização em relação as distâncias percorridas

ABC - AHP					
TEMPO TOTAL (ms)					
Carregamento		Tempo total execução (ms)		Redução	
Tarefa	Número de paletes	ABC	AHP	(ms)	%
11	27	600458	612292	-11834	-1,97%
12	27	622457	527959	94498	15,18%
13	27	599792	531122	68670	11,45%
14	27	610957	662625	-51668	-8,46%
15	27	614790	542124	72666	11,82%
16	27	656959	650292	6667	1,01%
17	27	612292	536192	76100	12,43%
18	27	637626	600624	37002	5,80%
19	27	702123	661626	40497	5,77%
20	27	642791	544792	97999	15,25%
		6300245	5869648	430597	

Quadro 77: Teste II - Comparação entre a alocação de carregamento ABC e AHP para tempo total

TEMPO TOTAL (ms)					
Carregamento		Tempo total execução (ms)		Redução	
Número Tarefa	Número de paletes	ABC	AHP	(ms)	%
10	270	6300245	5869648	430597	6,83%

Quadro 78: Teste II - Comparação geral entre a alocação de carregamento ABC e AHP para tempo total

Número Tarefas	Resultados	Porcentagem
8	Positivo	80,00%
2	Negativo	20,00%
10		

Quadro 79: Teste II - Relação resultado de cada tarefa de carregamento, se obteve otimização em relação ao tempo de execução