

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA ATRIBUIÇÃO DE
PRODUTOS EM ARMAZÉNS**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

DENILSON DIMAS DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante

RECIFE, MARÇO/ 2012

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S586m Silva, Denílson Dimas da.
Modelo multicritério para atribuição de produtos em armazéns /
Denílson Dimas da Silva. - Recife: O Autor, 2012.
xi, 74 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2012.
Inclui Referências Bibliográficas.

1. Engenharia de Produção. 2. Logística. 3. Armazém. 4. Multicritério.
5. Ordenação. 6. Alocação. 7. Produtos. I. Cavalcante, Cristiano Alexandre
Virgínio. (Orientador). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG/2012-116



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO ACADÊMICO DE
DENILSON DIMAS DA SILVA

***“MODELO MULTICRITÉRIO PARA ATRIBUIÇÃO DE
PRODUTOS EM ARMAZÉNS”***

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GERÊNCIA DA PRODUÇÃO

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera o candidato **DENILSON DIMAS DA SILVA APROVADO**.

Recife, 01 de março de 2012.

Prof. CRISTIANO ALEXANDRE VIRGÍNIO CAVALCANTE, Doutor (UFPE)

Profª. DANIELLE COSTA MORAIS, Doutor (UFPE)

Profª. LÚCIA MARIA MAFRA VALENÇA, Docteur (UFPE)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo seu amor incondicional, pela certeza do seu cuidado durante esta jornada, pela sua misericórdia e bondade. Agradeço por tudo que tu és, ó Deus, pelo que fizeste, estás fazendo e vais fazer na minha vida.

Aos meus pais, Marlene Avelino da Silva que nunca mediu esforços para nos educar, apoiar, cuidar e amar durante todo o meu período de vida, e Dimas Inácio da Silva, quando em vida, pelo seu incentivo, demonstração de alegria e esforço para ver o seu filho formado.

Aos meus irmãos, Genilson Dimas da Silva e Patricia da Silva, bem como meu cunhado Marcelo Avelino pelo companheirismo, presteza, compreensão, paciência e incentivo nos momentos difíceis.

Ao meu orientador Cristiano A. V. Cavalcante, pelo seu jeito simples e amoroso, pelo exemplo de dedicação profissional e paciência, pelo esforço em me orientar e educar, pelo incansável incentivo e injeção de ânimo com a sua forma alegre de se expressar.

Aos meus avôs e avó, Severino Avelino, Zé de Zuza e Dona Ana (In memoriam), pela transferência de experiência de vida.

As minhas tias, Teresinha Avelino e Marliene Avelino, e tio João Avelino, pela incansável satisfação e dedicação em me educar, cuidar, apoiar e servir desde o meu nascimento.

À Cícero César e Mércia Leite, e seus filhos Júlio César e Roberta Kelly, bem como Juninho e Cristiane, pelas palavras de apoio e ajuda.

Aos irmãos da Igreja Evangélica Congregacional de Alagoa Nova (IECAN), pelas orações e ensino Bíblico, sob a orientação do Pr. Josinaldo Leôncio e sua família, e corpo de oficiais.

Aos irmãos da 1ª Igreja Batista em Cidade Universitária de Recife (PIBCDU), pela comunhão, aprendizado, orações e ensino da Palavra de Deus, sob a orientação dos Pastores Ricardo Félix e André Albuquerque e suas famílias, e corpo de diáconos.

Aos meus irmãos do coral da PIBCDU, com os quais aprendi mais a amar as pessoas, pelas orações e comunhão, sob a regência da ministra de música Abinésia Souza.

Aos meus amigos de Alagoa Nova Josana Montero, Tamires Luna, Sandrinho Montero, Flauber Soares, Kalina Gomes, Hermana Borges, Heloisa Borges, Alice Alves e família, André Luiz, Maria de Lourdes, Edina e Ediane, Lauricélia Galdino, pelo incentivo, pela ajuda e pelas palavras de conforto.

Aos meus amigos e companheiros de estudo, Mayne Ramos, Jônia Lima, Taciana, Zé Leão, Marcelle, Natália, Hannah Oliveira, Maria Creuza, Altamar Cardoso, Tiago Polleto, Fernando Dias, Carlos Augusto, Amanda Maria, Eliz Regina, Ricardo Araújo, Adônis, Isis Tavares, Renata Henrique, Mayara Mansur, Paula Germano, Jefferson Alves, Helton Bruno, dentre outros, que muito me ajudaram tanto academicamente quanto psicologicamente com o convívio amigável e sincero.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção sob a coordenação da Profª Caroline M. M. Mota, bem como a respectiva secretária nas pessoas de Juliana e Bárbara.

Ao Laboratório de Gestão da Manutenção por permitir a troca de informações entre os integrantes, a saber, Rodrigo, Thiago, Walber, Guilherme, Humberto.

Aos professores do PPGEP que foram peças fundamentais durante esta fase acadêmica.

Ao povo brasileiro, que financiou os meus estudos do mestrado acadêmico por intermédio do Programa CAPES via PPGEP.

Finalmente, a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

O armazém funciona como um elo que liga as empresas aos consumidores e, por isso, ele deve ter uma política de armazenamento de produtos que atenda as demandas dos clientes em tempo hábil e de forma eficiente. A função de armazenamento assume um papel estratégico na cadeia de suprimentos, dado que uma organização eficiente dos produtos em localidades estratégicas contribui para uma maior velocidade de circulação destes dentro do armazém e no canal logístico, o que aumenta a rapidez na entrega e, por sua vez, o nível de competitividade das empresas. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é propor um modelo de apoio a decisão multicritério para o processo de ordenação e atribuição dos produtos nos locais de armazenamento. Durante a estruturação do modelo definiu-se que a natureza do problema é multicritério e, diante disto, seguiu-se o processo de levantamento dos critérios mais importantes a serem considerados no modelo, por meio da pesquisa realizada na literatura. O método multicritério aplicado foi o Smarter e os resultados mostraram uma ordenação dos produtos, que permitiram estrategicamente posicioná-los nos locais de armazenamento em ordem decrescente, do maior para o menor valor global multicritério. Os locais mais próximos do ponto de I/O receberam os produtos com as melhores pontuações e nos locais mais distantes foram atribuídos os produtos que obtiveram pontuações mais baixas e também aqueles que, em análise, mostraram-se valores dominados.

Palavras-chave: Logística, armazém, multicritério, ordenação, alocação e produtos.

ABSTRACT

The warehouse acts as a link that connects companies to consumers and, therefore, it must have a policy of storage of products which meet customer demands in a timely and efficient manner. The storage function plays a strategic role in the supply chain, since an efficient organization of products in strategic locations contributes to an increased speed of movement inside the warehouse and logistics channel, which increases the speed of delivery and the level of competitiveness. In this context, the aim of this study is to propose a model of support to the multicriterion decision for the process of ordering and allocation of products in the storage locations. During the structuring of the model, it was decided that the nature of the problem is multicriterion and it was followed by the assessment process of the most important criteria to be considered in the model, through the research at the literature. The multicriterion method applied was the Smarter, and the results showed an ordering of products which allowed strategically put them in the storage locations in descending order, from the highest to the lowest overall multicriterion value. The nearest locations of the point of I/O received products with the best scores and in the most distant places were given the products that had lower scores and also those who, under analysis, were dominated values.

Keywords: Logistics, warehouse, Multicriteria, ordering, allocation and products.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Problemática.....	2
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivo Geral	3
1.2.2	Objetivos Específicos	4
1.3	Justificativa.....	4
1.4	Metodologia.....	5
1.5	Estrutura do Trabalho	6
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	8
2.1	Aspectos Gerais–Gestão da Logística e Gestão da Cadeia de Suprimentos	8
2.1.1	Da Introdução a Logística a Cadeia de Suprimentos: Origem, Evolução e Conceitos	8
2.1.2	Importância da Logística	11
2.1.3	Componentes da Logística/Cadeia de Suprimentos	11
2.2	Gestão da armazenagem.....	12
2.2.1	Princípios Históricos da Estocagem/Armazenagem	12
2.2.2	Vantagens econômicas e de serviços da Funcionalidade dos Armazéns	14
2.2.3	Razões para a Estocagem	15
2.2.4	Distinção entre Estocagem e Armazenagem	16
2.2.5	Caracterização e Tipos de Armazéns	17
2.2.6	Princípios Básicos de Projetos de Armazéns	18
2.2.7	Estrutura e Atividades da Armazenagem	18
2.2.7.1	<i>Order Picking</i> (Separação de Pedidos).....	21
2.2.7.2	<i>Order Batching</i> (Lotes de Pedidos).....	23
2.2.7.3	Sequenciamento e Roteamento.....	23
2.2.7.4	Zoneamento	24
2.3	O problema de atribuição de produtos em armazéns	25
2.4	Dimensão Introdutória da Tomada de Decisão Multicritério/ MCDA.....	26
2.4.1	Tipos de Problemáticas em Apoio Multicritério a Decisão	27

2.4.2	Procedimentos para modelagem de problemas multicritério	28
2.4.3	Métodos Multicritério de Apoio a Tomada de Decisão	29
2.4.3.1	O método SMARTS e SMARTER.....	31
3	Atribuição de Produtos em Armazém.....	35
3.1	<i>Layout</i> do Armazém	35
3.2	Custos da Armazenagem	36
3.3	Atribuição de Produtos para Locais de Armazenamento	37
3.3.1	Políticas de Organização de Produtos no Armazém	38
3.3.1.1	Política de armazenamento baseada em classe.....	42
3.3.1.1.1	Índice cúbico por pedido (COI).....	43
3.3.1.1.2	Curva ABC	44
3.4	Modelos de localização com uso multicritério.....	46
3.5	Modelos de alocação de produtos em armazéns	47
3.6	Modelos com aplicações do método Smarter.....	50
4	ESTRUTURAÇÃO DO MODELO.....	52
4.1	Modelos atuais para atribuição de produtos em armazéns	52
4.2	Modelo Proposto para atribuição de produtos.....	52
4.3	Estruturando os Elementos do Modelo Proposto	54
4.3.1	Determinação do conjunto de alternativas	54
4.3.2	Design do armazém em localidades	54
4.3.3	Estabelecendo os objetivos do Modelo	55
4.3.4	Especificação dos critérios/atributos	56
4.3.5	Identificação do agente de decisão.....	57
5	APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO	58
5.1	Utilização do Modelo	58
5.2	Fase 1 - Identificação e Estruturação do Problema	59
5.3	Fase 2 – Aplicação Numérica.....	59
5.4	Fase 3 – Escolha e Atribuição	64
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	67
6.1	Considerações Finais	67
6.2	Proposições para Trabalhos Futuros.....	68
	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Evolução da Integração Logística.....	10
Figura 2.2 – Problemas de Design e Operações do Armazém	19
Figura 3.1 - Classificação ABC com base na Demanda Anual em Valor	45
Figura 4.1- Fases do modelo multicritério proposto.....	53
Figura 4.2- <i>Layout</i> de armazém.....	55
Figura 5.1– Atribuição dos produtos aos locais	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 3-1 - Políticas de Armazenamento - Vantagens e Desvantagens	40
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Representação da Matriz das alternativas por critérios	60
Tabela 5.2- Matriz das alternativas por critérios	60
Tabela 5.3 - Matriz das alternativas por critérios (continuação)	61
Tabela 5.4 – Matriz das alternativas não dominadas.....	61
Tabela 5.5 – Matriz normalizada com alternativas não dominadas por critérios	62
Tabela 5.6- Importância relativa dos critérios e pesos	63
Tabela 5.7- Matriz alternativa por critério, pesos e cálculo da função valor multiatributo.....	63
Tabela 5.8- Ranking das alternativas.....	64

1 INTRODUÇÃO

A tendência crescente da necessidade de eficazes e eficientes operações logísticas, dado o surgimento de um grande número de produtos e da ênfase em tempos de respostas curtos, fez as atividades logísticas desempenharem um papel de suma importância na determinação da competitividade das empresas no atual cenário econômico.

De acordo com Ballou (2006) a logística é um processo que abrange todas as atividades importantes para o oferecimento de bens e serviços aos consumidores, não havendo barreiras quanto ao lugar e ao tempo para adquiri-las.

Na concepção de Moura (1997) o conceito de sistema logístico pode ser visto como o agrupamento de recursos aplicados para desenvolver fisicamente todas as operações de fabricação, armazenagem e movimentação, que possibilite garantir o fluxo de materiais dos fornecedores até o cliente. Tal conceituação engloba uma gama de atividades dispersas na empresa, isto é, as atividades que são independentes uma da outra. Essa noção de logística permeou a literatura até o surgimento do novo conceito de gerenciamento da cadeia de suprimentos, por volta da década de 80.

O gerenciamento da cadeia de suprimento capta a essência da logística vista de forma integrada, sob a tutela da gestão coordenada de todas as atividades que são inter-relacionadas no seu âmbito de atuação. Assim sendo, todas as atividades direta ou indiretamente envolvidas no atendimento do pedido de um cliente devem ser observadas dentro de um fluxo interativo de intensa interdependência.

É neste contexto e fazendo parte deste que se destaca a importância da atividade de armazenagem, tendo recebido considerável interesse na literatura dentro do gerenciamento da cadeia de suprimentos como um elemento de fundamental importância na integração do canal logístico, além de tornar-se uma extensão da produção.

Moura (1997) afirma que o armazém é o elo que liga a produção ao consumidor, ou então o fornecedor ao produtor. Ainda ressalta que a gestão do armazém não deve ser feita de forma isolada da empresa, mas com coordenação entre todas as outras atividades dos outros setores da organização.

A função do sistema de armazenagem é composta por um conjunto de atividades relacionadas entre si, a saber: recebimento, armazenagem/estocagem, *order picking* (separação de pedidos) e expedição, conforme Rowenhorst *et al* (2000).

Neste estudo será abordada a atividade de armazenamento/estocagem que é a principal função do armazém, correspondendo a guarda dos produtos nas áreas do depósito. Ela objetiva atingir uma eficiente utilização do espaço, facilitação de separação de pedidos e minimização do custo de *order picking* (Gu *et al*, 2007).

1.1 Problemática

Em tempos passados a armazenagem era vista como um sistema de instalações estáticas encontradas ao longo do fluxo logístico e que adicionava custos operacionais as organizações e, por isso, não se buscava a sua eficiência por meio da melhoria da produtividade das atividades de estocagem e manuseio. Então, por muito tempo a armazenagem tornou-se uma função quase esquecida dentro das empresas.

Nas últimas décadas, o fluxo crescente de mercadorias e a rápida evolução da tecnologia na movimentação de materiais têm afetado as operações dentro do armazém de forma significativa, exigindo aumento da produtividade de todas as atividades do sistema de armazenagem. Essas transformações contemporâneas significam que os armazéns devem entregar baixos volumes mais frequentemente com o menor tempo de resposta e com uma variedade bem maior de produtos aos clientes.

Diante do exposto, a ordenação de produtos e a determinação de locais para armazenamento adequado de quantidades de produtos passou a ser um dos principais desafios dos gestores do armazém, uma vez que, conforme Chan *et al* (2011), a política de atribuição de armazenamento é afetada por vários fatores, tais como: as características dos produtos, o tamanho, o comportamento da demanda, as taxas de volume de negócios, método de separação de pedidos, o layout do sistema de armazenagem e os requisitos de espaço.

Para Goetschalckx *et al* (1990) e De koster (2007) uma política de atribuição de armazenamento é um agrupamento de regras que podem ser utilizadas para atribuir produtos aos locais de armazenamento. Salienta-se que a escolha desse conjunto de normas depende das características e das informações disponíveis dos produtos, bem como da consideração dos custos de armazenamento e de separação de pedidos.

As políticas de atribuição de local de armazenamento, portanto, decide de que forma ou como e onde os produtos devem ser estocados dentro do armazém. A organização dos itens possibilita uma redução do tempo médio de viagem para armazenamento e para recuperação do pedido, melhora a utilização do espaço, além de permitir uma distribuição uniforme das

atividades que aumentará a capacidade de processamento de pedidos. Isto significa redução dos custos de manuseio de materiais e, conseqüentemente, dos custos totais e aumento da competitividade das empresas no mercado.

Chan *et al* (2011) considera a atribuição de produtos para armazenamento como um dos fatores mais preponderantes a afetar o desempenho de *order picking* e, conseqüentemente, as operações de todo o sistema de armazenagem, haja vista que o processo de recuperação de produtos da área de estocagem está relacionada com a configuração de como os itens estão armazenados dentro do armazém.

Tem-se que diferentes critérios podem ser utilizados para ordenar e alocar os produtos em suas respectivas posições de armazenamento, tais como: tamanho, demanda, peso, volume, popularidade, custo, distância. Dessa forma, a questão de atribuição de locais para armazenamento apresenta uma quantidade de ações de escolhas diferentes que entram em conflito.

Considerar todos os fatores simultaneamente de forma consistente e selecionar o melhor local se torna uma atividade difícil para o ser humano e, assim, a ordenação e atribuição de produtos para armazenamento pode ser entendida como um problema de tomada de decisão de múltiplos critérios.

Nesse contexto, diante da importância de uma eficiente gestão do processo de armazenamento para o progresso competitivo das organizações e das dificuldades encontradas pelos gerentes de armazéns na ordenação de produtos e atribuição de locais para estocagem dentro de um armazém, surgiu o seguinte problema desta pesquisa: como ordenar os produtos e atribuí-los aos locais de armazenamento tendo em vista a exposição de vários critérios dos produtos a serem considerados dentro de um armazém?

1.2 Objetivos

Neste subitem serão expostos os objetivos que conduzem a pesquisa, os quais serão divididos em objetivos geral e específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar um modelo de tomada de decisão com vários critérios para ordenação de produtos e atribuição aos locais de armazenamento em um armazém hipotético.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar origem, funções, conceitos e características referentes aos vários aspectos inerentes a logística moderna e a armazenagem;
- Destacar a importância estratégica das políticas de organização de produtos em armazéns, no processo de agregação de valor na cadeia de suprimentos;
- Estabelecer os critérios para ordenação e atribuição de produtos no armazém;
- Propor um modelo multicritério para ordenação e alocação de produtos no armazém.

1.3 Justificativa

Para Moura (1997) a função de armazenagem pode ser observada pela sua importância no aspecto econômico de sua gestão, uma vez que a disfunção do armazém acarreta em impactos significativos nos custos totais do mesmo. A gestão do armazém é uma fração vital do panorama geral do funcionamento da empresa e de toda a cadeia de suprimentos. O autor ainda acrescenta que o uso efetivo do espaço para armazenagem representa um investimento que deve ser administrado com o máximo de cuidado.

O armazenamento é uma das funções do armazém que tem o maior impacto sobre o desempenho operacional, o que repercute de forma acentuada nos custos de *order picking* (separação de pedidos) e, conseqüentemente, nos custos totais da empresa e de toda a logística da cadeia de suprimentos, haja vista a gestão coordenada e integrada com que as atividades logísticas estão sendo executadas em períodos recentes.

A atividade de *order picking* é altamente dispendiosa, correspondendo a uma estimativa de custo em até 55% do total de despesa do funcionamento do armazém. Assim, uma atribuição eficiente de produtos dentro do armazém terá impacto positivo na redução de custos operacionais; por outro lado, uma atribuição ineficiente acarretará em aumento dos custos operacionais do armazém e para toda a cadeia de suprimentos, má prestação de serviços devido à demora na procura dos produtos nas áreas, e perda de competitividade das organizações (De koster, 2007).

Os problemas da gestão da atividade de armazenamento são considerados de natureza dinâmica por causa da incorporação de informações em curto prazo e, sendo assim, fazem-se necessárias investigações nesta temática, uma vez que devido à prevalência de uma ampla gama de armazéns nas cadeias de suprimentos os resultados alcançados podem ter uma significativa importância econômica para as organizações empresariais e consumidores.

Enfatiza-se, portanto, a necessidade de investigação e aplicações de modelos que visem apoiar a tomada de decisão no âmbito da ordenação e alocação de produtos nas áreas do armazém.

A correta colocação dos produtos em lugares adequados, respeitando suas características, e a utilização de um sistema de armazenagem propício, proporciona uma série de vantagens, tais como: eficiente utilização do espaço e utilização dos recursos operacionais, otimização no tempo da mão-de-obra para localizar os produtos nas áreas do armazém, diminuição das distâncias de viagens e redução de custos.

O presente trabalho ainda justifica-se pela sua contribuição teórica e prática. Na relevância teórica evidencia-se a abordagem que se faz acerca da literatura pertinente destacando as contribuições e anseios nas perspectivas dos autores acerca da temática envolvida. A importância prática está na perspectiva empresarial, uma vez que melhores níveis de serviços e a garantia da satisfação do consumidor são aspectos prioritários na manutenção da competitividade e lucratividade das organizações.

1.4 Metodologia

A metodologia deste estudo é baseada em pesquisa descritiva e exploratória. Na concepção de Gil (2002), aquela trata primordialmente da descrição dos atributos de determinada população ou fenômenos, bem como o estabelecimento de relações entre variáveis; e, a outra, conforme Ceribelli (2003) tem a preocupação de proporcionar maiores informações sobre o tema e descobrir uma forma original de desenvolver o assunto.

Durante a fase de estruturação do problema deste trabalho foi constatado que o problema em questão está inserido em um contexto de tomada de decisão com vários critérios. Os objetivos, os critérios e as alternativas são identificados, e para a resolução do modelo proposto, ordenação e atribuição de produtos em um armazém hipotético, é utilizado o método multicritério Smarter.

O modelo proposto se divide respectivamente em três fases: identificação e estruturação, aplicação, escolha e atribuição. Estas fases serão seguidas sistematicamente para a obtenção do resultado.

Na primeira fase é possível definir o problema, os objetivos, as alternativas, os critérios e o agente de decisão, correspondendo as três primeiras etapas do método Smarter. A segunda fase permite a aplicação numérica com as alternativas que não foram dominadas, utilizando

da quarta até a nona etapa do método Smarter. A última fase do modelo faz uso ainda da nona etapa do método Smarter, na qual os produtos são ranqueados do maior para o menor valor multiatributo e são alocados do melhor para o pior valor multiatributo, ou seja, em ordem decrescente. Ressalta-se que na fase de aplicação foram seguidas as etapas que fazem parte da estrutura do método multicritério Smarter.

Os resultados são obtidos por meio de dados fictícios, com uma aplicação numérica utilizando a técnica de simulação. De acordo com Fontana (2010) esta comporta a análise de distintos cenários por meio de suposições, bem como seus resultados proporcionam respostas efetivas para a tomada de decisão em situações da realidade.

De acordo com Corrêa (1998) a simulação procura modelar um sistema e observar como as variáveis de entrada afetam as variáveis de saída em extensos períodos num curto espaço de tempo, possibilitando o estudo individual de cada variável do modelo para determinar qual é realmente relevante.

Gu *et al* (2010) objetivando proporcionar uma visão abrangente das metodologias e ferramentas disponíveis para a melhoria do armazém afirma que a simulação é uma técnica muito utilizada para a avaliação de desempenho do armazém tanto na literatura acadêmica quanto na prática.

1.5 Estrutura do Trabalho

Para possibilitar um adequado entendimento da proposta deste trabalho e da forma como os objetivos gerais e específicos serão atendidos, são apresentados a seguir os componentes estruturais dos capítulos com uma sucinta descrição:

O capítulo um diz respeito à introdução, na qual são expostas a temática, os objetivos, a justificativa, a metodologia e a organização do trabalho.

No capítulo dois é realizada a fundamentação conceitual das nomenclaturas pertinentes ao estudo. Discorre uma breve revisão dos conceitos da logística à cadeia de suprimentos, com ênfase no gerenciamento de estoques em armazéns. Também há uma revisão de conceitos da tomada de decisão multicritério.

No capítulo três tem-se a revisão bibliográfica sobre as políticas de atribuição de produtos para localidades no armazém, na qual são destacados modelos de localização que utilizam o procedimento de decisão multicritério e algumas aplicações relevantes com o uso do método multicritério Smarter.

No capítulo quatro é apresentada a estruturação de um modelo de apoio a decisão, proposta deste trabalho, para o atendimento das necessidades do gestor do armazém em determinar a ordenação e atribuição eficiente de produtos no armazém.

No capítulo cinco será aplicado o modelo proposto para a ordenação e atribuição dos produtos nos locais de armazenamento, por meio da técnica de simulação utilizando o método Smarter, e são apresentados os resultados principais.

Por fim, o capítulo 6 expõe as considerações finais e as possíveis sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma revisão do arcabouço teórico sobre Logística, Cadeia de Suprimentos, Armazenagem, Tomada de decisão multicritério e o Método Smarter de agregação aditiva Multiatributo, destacando as características que são de suma importância para a compreensão do problema proposto.

2.1 Aspectos Gerais–Gestão da Logística e Gestão da Cadeia de Suprimentos

São duas temáticas de fundamental importância dentro do contexto empresarial, contribuindo para que as organizações alcancem altos níveis de competitividade e, simultaneamente, ofereçam um elevado patamar de nível de serviço aos seus clientes.

2.1.1 Da Introdução a Logística a Cadeia de Suprimentos: Origem, Evolução e Conceitos

Nas antigas civilizações os bens eram consumidos nos lugares de origem, ou eram carregados para outros locais, ou ainda eram armazenados. Não existia um desenvolvido sistema de transporte e armazenagem, o que contribuía para a limitação do consumo de produtos de regiões mais distantes, bem como a estocagem dos produtos eram feitas em prazos curtos (Ballou, 2006).

Mais tarde, com o aperfeiçoamento dos sistemas logísticos, a separação geográfica entre consumo e produção foi sendo superada e a logística passaria a ser um elemento essencial que faz a ligação entre os locais de produção e os mercados em tempo e distância dentro do comércio global (Ballou, 2006).

Os princípios da logística moderna podem ser rastreados a partir de Taylor, em 1947. Ele enfatizou a melhoria da eficiência dentro da fábrica através da organização de tarefas do trabalhador, bem como introduziu as dimensões como a seqüência, duração, horário, ritmo, sincronização e perspectiva de tempo, que são de suma importância para a gestão da logística, conforme Hesser *et al* (2004).

Goebel (1996) salienta que inicialmente a logística foi aplicada em operações militares, objetivando combinar formas eficientes de deslocar as tropas e supri-las com equipamentos e alimentos, expondo-as o mínimo possível ao inimigo.

Para Hesser *et al* (2004) a década de 60 marcou a logística como uma atividade dividida em torno do fornecimento, armazenagem, produção e distribuição; cada uma destas atividades era apontada como parte independente uma das outras.

Ballou (2006) afirma que a logística é um processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com vistas a atender as necessidades dos clientes. Assim sendo, a logística inclui todas as atividades fundamentais para a disponibilização de itens e serviços a qualquer tempo e localidade para os consumidores. O autor destaca que as atividades logísticas, historicamente, sempre foram vistas como uma prática administrada separadamente, de modo que elas eram compreendidas como não inter-relacional e não integrada.

Com o passar do tempo, esta visão sofreu um processo de transformação. Na década de 1980, com um novo tipo de organização baseada em princípios de gestão, as empresas passaram a adotar uma nova cultura em que as atividades logísticas foram tratadas como uma gestão coordenada de atividades inter-relacionadas e integradas, que agrega valor a produtos e serviços para a satisfação do consumidor (Hesser *et al*, 2004; Ballou, 2006). Isto era necessário para atender a uma produção, cada vez mais fragmentada espacialmente.

Essa nova forma de tratamento das atividades logísticas fez surgir o conceito de gerenciamento da cadeia de suprimentos, em que a logística é vista como parte do processo da cadeia de suprimentos, e não do processo inteiro. O gerenciamento da cadeia de suprimentos é um termo utilizado recentemente e é entendido como um conceito que capta a essência da logística integrada e a ultrapassa (Ballou, 2006).

O gerenciamento da cadeia de suprimentos enfatiza as interações logísticas que ocorrem entre as funções de marketing, logística e produção dentro de uma empresa, bem como destaca essas mesmas interações entre as empresas no canal de fluxo de produtos (Ballou, 2006).

Moura (1997) destaca que as atividades logísticas não podem ser executadas sem um relacionamento mútuo entre elas mesmas, necessitando trabalhar em conjunto para o bom funcionamento do fluxo logístico, conforme se observa na Figura 2.1. Nesse contexto, Hesser *et al* (2004) acrescenta que o crescente grau de integração das atividades logísticas e a dispersão espacial entre produção e distribuição, da década de 90 em diante, foram possíveis devido as aplicações inovativas das tecnologias da informação e comunicação que facilitaram

a promoção em tempo real de fornecimento de matérias-primas e atendimento de pedido do cliente.

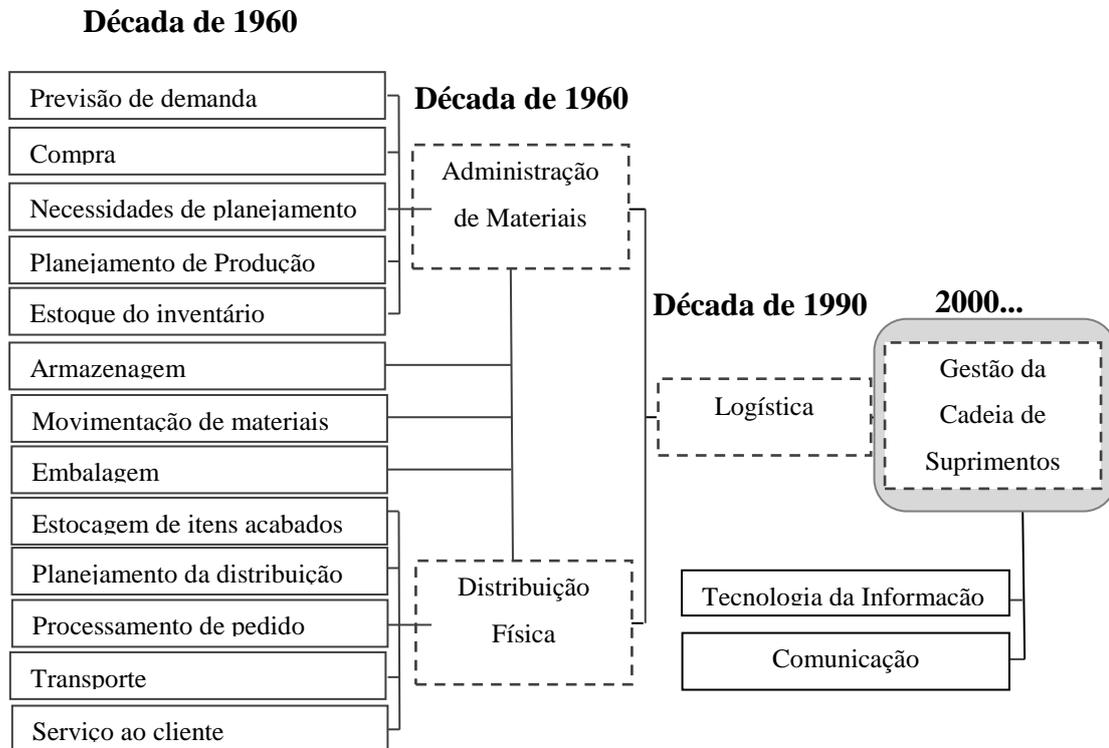


Figura 2.1- Evolução da Integração Logística

Fonte: adaptado de Moura (1997) e Hesser *et al* (2004)

Hesse *et al* (2004) explicita que a forma de gestão e organização empresarial, em tempos recentes, afeta praticamente todas as atividades da cadeia de suprimentos, inclusive o processo de armazenagem, que é um elemento de fundamental interesse do fornecedor, produtor, distribuidor, varejista e consumidor final.

De acordo com (Chopra *et al*, 2003) a cadeia de suprimentos engloba todas as atividades envolvidas, direta ou indiretamente, no atendimento de um pedido de um cliente, de modo que abrange desde fabricantes, fornecedores, transportadoras, armazéns, varejistas, até os próprios clientes.

Para Trigueiro (2001) a cadeia de suprimentos tem como finalidade principal agregar valor para o cliente, atendendo as suas necessidades, bem como tem a obrigação de desenvolver uma relação de confiança entre fornecedores e clientes, permitindo o envolvimento dos mesmos no ciclo de desenvolvimento do produto e serviços.

De forma geral, portanto, o gerenciamento da cadeia de suprimentos aborda a coordenação do fluxo de produtos ao longo de funções e de empresas, com a finalidade de promover vantagem competitiva e lucratividade para as organizações individualmente e para todos os integrantes inseridos na cadeia de suprimentos.

2.1.2 Importância da Logística

Segundo Faria & Costa (2010) a finalidade da logística é fornecer os níveis de serviços exigidos pelo cliente, de modo que a satisfação do mesmo será a medida do sucesso ou do fracasso das atividades logísticas desenvolvidas pelas organizações. O autor atenta para o fato de que a logística serve como uma ferramenta de medição de desempenho tanto na relação empresa e fornecedores quanto empresa e cliente dentro da cadeia de suprimentos.

A eficiente administração das atividades logística dentro da cadeia de suprimentos contribui para o processo de criação de valor e agregação de valor para os entes envolvidos direto ou indiretamente, da diminuição dos custos logísticos, e elevação das expectativas dos clientes quanto aos produtos e serviços por meio da rapidez e acessibilidade (Ballou, 2006). Portanto, é notória a responsabilidade do papel da logística na geração e controle dos valores tempos e lugares.

A logística afeta significativamente uma fatia dos custos das empresas e as diferentes formas de gerenciar os processos da cadeia de suprimentos possibilita distintos níveis de serviços ao cliente, fazendo com que as empresas penetrem em novos mercados e aumente a sua competitividade e lucratividade.

De um ponto de vista mais amplo, a eficiência e a eficácia dos sistemas logísticos ao proporcionar uma melhor sustentação rentável e competitiva para as empresas, simultaneamente, também proporciona um melhor padrão de vida para todos os entes, tanto aqueles que estão envolvidos diretamente no processo quanto com aqueles que fazem parte da sociedade em geral. Isto a destaca como um componente imprescindível para o crescimento econômico da organização (Faria & Costa, 2010).

2.1.3 Componentes da Logística/Cadeia de Suprimentos

Para (Handfield & Nichols, 1999 *apud* Hesse *et al*, 2004) a logística moderna remete a um amplo conjunto de atividades destinadas à transformação e circulação de bens, tais como: suprimento, produção e distribuição, atacado e varejo, atendimento de pedidos dos clientes e o fluxo de informações.

Estas atividades da logística são divididas sob a perspectiva de dois pontos de vista, a saber: a distribuição física e o gerenciamento de materiais. Para Hesse *et al* (2004) aquela engloba todas as funções de circulação e manuseio de mercadorias, enquanto que a gestão de materiais compreende as atividades relacionadas com a produção de bens e *marketing*.

Ching (1999) define as atividades da logística na empresa em dois grupos, a saber: as atividades primárias e secundárias. O primeiro grupo corresponde as atividades que são essenciais para a execução da função logística e são as seguintes: transportes, gestão de estoques, processamento de pedidos. As atividades secundárias apoiam as atividades primárias, e são: armazenagem, manuseio de materiais, embalagem de proteção, programação de produtos, manutenção de informação.

2.2 Gestão da armazenagem

A gestão da armazenagem é uma temática de suma importância dentro do gerenciamento da cadeia de suprimentos, sendo considerada uma conveniência econômica e de serviços. Diante disto, os subitens seguintes abordarão as características mais relevantes referente a mesma.

2.2.1 Princípios Históricos da Estocagem/Armazenagem

De acordo com Bowersox & Closs (2008) em um período remoto a estocagem de produtos era realizada nas residências e só com o desenvolvimento dos meios de transporte, ela passou a ser feita em armazéns nas instalações de varejistas, atacadistas e fabricantes. Os armazéns eram vistos como instalações estáticas de estocagem, sendo localizadas ao longo do fluxo de materiais e de produtos, necessárias para executar operações de comercialização.

Essa visão considerava o estoque como um mal necessário, visto que adicionava custos operacionais ao processo de distribuição, sendo dada pouca atenção as atividades de disponibilidade de sortimentos de produtos, controle interno e velocidade de rotação de estoque. Observava-se que as empresas buscavam ter operações eficientes nos locais de suprimento, fabricação e consumo sem, contudo, priorizar aspectos como a melhoria da eficiência da estocagem e do manuseio, recursos humanos eram utilizados sem moderação, e havia ineficiência do uso do espaço e manuseio (Bowersox & Closs, 2008).

Após a II Guerra Mundial, a gerência empresarial passou a observar o armazém como um elemento de integração do canal logístico e ainda como uma extensão vital da produção.

Nas décadas de 60 e 70, deu-se ênfase ao uso de novas tecnologias, afetando as áreas operacionais dos depósitos e proporcionando novos e melhores procedimentos de manuseio de materiais e armazenagem (Bowersox & Closs, 2008).

Na percepção de (Berg, 1999a; Shouman, 2005) as operações dos sistemas de armazenagem tem recebido considerável interesse na literatura desde a década de 1970, quando *just in time* tentava alcançar um alto volume de produção usando mínimo estoque de itens. Esses novos desenvolvimentos exigiram dos armazéns que baixos volumes sejam entregues mais frequentemente com o menor tempo de resposta a partir de uma variedade muito maior de itens.

Nos anos 80, concentraram-se esforços nas tecnologias de manuseio e de aperfeiçoamento da configuração de sistemas de armazenagem.

Já na década de 90, o foco concentrou-se na flexibilidade dos depósitos, que é necessária para responder as exigências de clientes quanto a produtos e características de entrega, e também no uso de tecnologia da informação para transmitir resposta rápida as mudanças de mercado (Bowersox & Closs, 2008). Assim, (Shouman *et al*, 2005; Chen *et al*, 2008) afirmam que os armazéns tem se tornado um componente essencial para o desenvolvimento da cadeia de suprimentos.

Para Manzini *et al* (2007) nos últimos anos o aumento da concorrência se deveu ao tempo e comércio eletrônico que juntos exerceram pressão sobre os gerentes para que estes reduzissem os custos de concepção e gestão do armazém. Isto trouxe uma nova forma de ver as atividades de armazenagem, principalmente no que diz respeito aos sistemas de separação de pedidos, que são responsáveis para processar uma grande quantidade de pequenos pedidos, o que aumenta consideravelmente os custos de pegar os pedidos nos locais de armazenamento.

Petersen *et al* (2005) colocam que atualmente os armazéns executam mais transações menores, manipula e estoca mais produtos, ofertam mais customização de serviços e produtos, e ainda fornecem mais serviços de valor agregado, apesar de terem menos tempo para processar pedidos e menos margem de erro. Embora muitas empresas tentem solucionar estes desafios com mais tecnologia, a solução pode está na análise cuidadosa dos pedidos dos clientes e produtos no armazém.

Os mesmos autores abordam que as exigências quanto ao armazenamento de produtos mudaram de forma expressiva a maneira de tratamento dos armazéns nos últimos anos, em

que se passou a preocupar-se consideravelmente com a alocação e as técnicas adequadas de armazenamento. Isto se deve ao fato do interesse no âmbito de todos os aspectos da cadeia de suprimentos.

2.2.2 Vantagens econômicas e de serviços da Funcionalidade dos Armazéns

Para Bowersox & Closs (2008) as vantagens alegadas para o uso de armazéns podem ter natureza econômica e de serviço. As vantagens de caráter econômico se justificam pela redução do custo total do armazém, e são as seguintes:

- A consolidação de cargas mostra que o depósito pode receber e consolidar produtos de várias fábricas, para envio a um cliente específico em uma só entrega. Isto reflete em fretes menores e na eliminação de congestionamento em áreas de recebimento de mercadorias em instalações.
- Nas operações de *Break Bulk* não existe estoque de produto, de modo que as quantidades são recebidas do fabricante e separadas de acordo com cada pedido de diversos clientes individuais e, em seguida, são providenciadas as entregas.
- O depósito de *cross-dock* apenas difere do tipo anterior pelo fato de envolver mais de um fabricante. As mercadorias chegam de vários fabricantes e são separadas por cliente e, em seguida, elas são movimentadas de uma plataforma para outra, onde serão carregadas em veículos para serem destinadas aos clientes. Em síntese, os produtos recebidos são transferidos diretamente para o local de envio, conforme De Koster (2007). Apresenta vantagens como diminuição de manuseio, uso eficiente da área de carregamento, transporte de cargas completas de fabricantes a varejistas.
- Os depósitos de postergação são utilizados para adiar a produção, podendo desenvolver atividades de fabricação, como por exemplo, embalagem e etiquetagem. As vantagens são: minimização de risco, visto que não se efetua o empacotamento final até que o cliente tenha feito o pedido; redução de estoque, em que se dá pela estocagem de produtos básicos e variedades de etiquetas e embalagens.
- Os depósitos para formação de estoque possibilitam a constituição de um estoque sazonal. Eles apoiam os esforços de comercialização, permitindo regulação do fluxo e eficiência na produção dentro das restrições impostas pelas condições de suprimentos e clientes.

As vantagens de serviços podem ser obtidas na armazenagem por meio dos seguintes procedimentos:

- O estoque ocasional em depósitos é feito temporariamente e consiste em colocar os produtos nos pontos estratégicos para permitir o atendimento de pedidos durante períodos sazonais de comercialização, mantendo o nível de serviço ao cliente.
- Os depósitos de sortimento estocam certa variedade de produtos de diferentes fabricantes em antecipação aos pedidos de clientes. Eles têm ampla linha de produtos e limita-se a poucos locais estratégicos e funcional, bem como reduzem o número de fornecedores com os quais os clientes têm que tratar.
- A combinação em depósitos possibilita as mercadorias que chegam de diferentes fabricantes a serem combinadas com outras mercadorias de acordo com os desejos de cada cliente ou necessidades do mercado, contribuindo para a redução de estoques e das tarifas de fretes.
- Apoio a produção proporciona fluxos constantes de componentes e de materiais para os setores de fabricação, agilizando o processo de produção e permite que as mercadorias fiquem prontas o mais rápido possível.
- Quanto à presença no mercado, os depósitos locais podem aumentar a capacidade de resposta aos pedidos e possibilitar entregas mais rápidas do que depósitos mais distantes.

2.2.3 Razões para a Estocagem

Após considerar a importância da estocagem no processo logístico, distinguem-se as seguintes razões básicas para o uso de espaço de estocagem, conforme Ballou (2006):

- Redução dos custos de transporte e produção – os custos menores obtidos pelo aumento da eficiência no transporte na produção possibilita a compensação dos custos adicionais de armazenagem
- Coordenação da oferta e demanda – organizações com uma produção altamente sazonal e uma demanda razoavelmente constante enfrentam normalmente problemas de desequilíbrio entre oferta e demanda. Isto também ocorre com empresas que não conseguem responder a aumentos bruscos de demanda, havendo necessidade de estoque ou, ainda, a entrega de matéria-prima não acompanha as necessidades da produção. Para Moreira (2004) os estoques regulam as diferenças de ritmo entre os

fluxos principais de uma empresa, sejam eles o fluxo de entrega de matérias-primas e componentes, o fluxo de produção e o fluxo de entrega para distribuição ou consumo.

- Necessidades de produção – os armazéns são utilizados para guardar os produtos durante a etapa de produção, isto é, ele faz parte do processo de produção. Para Moura (1997) eles garantem a continuidade da produção, uma vez que a quebra de ritmo provoca elevados prejuízos.
- Atendimento ao mercado – a armazenagem é usada como uma forma de o produto está próximo ao cliente, sendo possível uma disponibilidade rápida e facilitada.

Slack *et al* (2007) versam sobre a estocagem de forma mais profunda, afirmando que o estoque sempre existirá porque se evidencia uma diferença de ritmo entre o fornecimento e a demanda, não importando o que está sendo armazenado como estoque ou onde o tal está posicionado na cadeia de suprimentos.

De forma geral, conforme Moreira (2004), essas são as principais razões operacionais pelos quais o espaço de estoque é de notória importância para uma organização. Ele tem, portanto, o objetivo de ligar os fluxos entre si e possibilitar economias de produção.

2.2.4 Distinção entre Estocagem e Armazenagem

De acordo com Faria & Costa (2010) há uma diferença entre armazenagem e estocagem. A estocagem é compreendida como uma parte da armazenagem, sendo o acondicionamento ou a guarda de produtos, seja para uso na produção ou para comercialização, por um determinado período de tempo.

Para Moreira (2004) constituem estoque quaisquer quantidades de bens físicos conservado de forma improdutiva, por um determinado período de tempo.

Faria & Costa (2010) mostram que a armazenagem contempla uma gama de decisões operacionais que estão situadas no plano do *layout*, da estrutura para acondicionamento dos estoques, e da movimentação de materiais. Acrescentam-se também questões concernentes a localização, dimensionamento da área, arranjo físico, projeto de docas, configuração dos armazéns, tecnologia de movimentação interna, estocagem e sistemas de armazenagem.

Para Moura (1997) a armazenagem tem conceituação ampla, englobando todas as atividades de um ponto destinado à guarda temporária e a distribuição de materiais, ou seja, envolve um conjunto de atividades desde o recebimento até a expedição, de modo que a estocagem é apenas uma dentre elas.

2.2.5 Caracterização e Tipos de Armazéns

Para Rowenhorst *et al* (2000) os armazéns podem ser vistos a partir dos seguintes eixos: processos, recursos e organização. Os processos são as etapas do fluxo de itens a serem seguidas dentro do armazém. Os recursos são os meios para operar as etapas do armazém, a saber, equipamentos e recursos humanos. Já a organização envolve os procedimentos de planejamento e controle na execução do sistema. Os mesmos autores também definem produto como sendo um determinado tipo de bem, o qual possui elementos individuais denominados itens ou SKUs.

Rowenhorst *et al* (2000) distinguem os recursos/ meios para execução das etapas da armazenagem da seguinte forma: unidades de armazenamento - que podem ser caixas e paletes, sistemas de armazenamento, recuperação dos itens de forma manual ou automatizada, *scanners* de código de barras, sistema de computador para controle do processo de gestão do armazém, equipamentos de manuseio de materiais e pessoal.

Após supracitadas as características dos armazéns, destacam-se agora os tipos de alternativas de armazenagem que, conforme Bowersox & Closs (2008), podem ser armazéns próprios, públicos ou contratados.

Os depósitos próprios são gerenciados pelas firmas donas das instalações e dos itens manuseados. Apresentam as seguintes vantagens: maior controle pela empresa proprietária - permite absoluta autoridade na tomada de decisões, maior flexibilidade no atendimento as necessidades específicas e especializadas da empresa, e etc.

Para Ballou (2006) um armazém público é direcionado para especializar-se a fim de servir a uma gama ampla de necessidades diversificadas das empresas. Este tipo de armazém é muito mais padronizado na configuração do espaço e na utilização de equipamentos multiusos que os armazéns particulares. De acordo com Bowersox & Closs (2008) eles são operados de forma independente, oferecendo serviços variados, mas padronizados para todos os clientes.

Ballou (2006) afirma que a armazenagem pública oferece benefícios que são o oposto das oferecidas pelos armazéns particulares, a saber: o uso dos armazéns públicos não exige imobilização de investimento pela empresa que arrenda o espaço, custos mais baixos, localização flexível devido aos contratos serem temporários.

Bowersox & Closs (2008) referem-se ao depósito contratado como um acordo entre duas partes, que proporciona em um longo prazo, armazenagem e serviços logísticos especiais

e customizados, para um cliente exclusivo. Os benefícios podem ser quanto ao compartilhamento de riscos que permite menores custos, bem como oferece vantagens de especialização, flexibilidade e economia de escala, por compartilhar mão-de-obra, equipamento e informação com vários clientes.

2.2.6 Princípios Básicos de Projetos de Armazéns

Após a tomada à decisão de utilizar os depósitos, dada as suas vantagens indiscutíveis, o próximo passo é o de projetar as suas características. Quer seja ele operado manualmente ou automaticamente, os princípios básicos de projeto de armazéns são: critérios de projeto, tecnologia de manuseio e plano de armazenagem (Bowersox & Closs, 2008).

Os Critérios de Projeto estão relacionados com as características das instalações físicas e da movimentação dos produtos, considerando os fatores de número de andares, altura, fluxo de produtos. Os projetos de depósito devem permitir o uso do espaço disponível, bem como não obstruir a movimentação de produtos em linha reta para não provocar congestionamentos.

A Tecnologia de Manuseio remete a eficácia e eficiência da tecnologia aplicada no manuseio de materiais. Consideram-se os seguintes componentes: continuidade do movimento, que é obtido pelas movimentações mais longas e menos frequentes, e economia de escala na movimentação, que é adquirida quando a execução das atividades envolve grandes quantidades de produtos.

O Plano de Estocagem compreende as características dos produtos, principalmente aquelas relativas ao volume, peso e acondicionamento na estocagem. O volume dos produtos é considerado o elemento fundamental a ser destacado em um plano de armazenagem. As características de cada produto é quem molda um plano integrado de armazenagem.

Para Rowenhorst *et al* (2000) o projeto é executado por meio de uma descrição funcional e uma detalhada especificação técnica, de modo que em cada fase os critérios de desempenho, tais como custos, rendimento, capacidade de armazenamento, tempo de resposta, sejam cumpridos. Isso significa que o projeto de um armazém é uma empreitada bastante complexa, uma vez que em cada fase de sua execução há *trade-offs* entre os objetivos que são conflitantes por natureza.

2.2.7 Estrutura e Atividades da Armazenagem

A armazenagem envolve toda a circulação de mercadorias dentro dos armazéns ou centros de distribuição, incluindo as seguintes atividades básicas: recebimento,

armazenamento, separação de pedidos (*order picking*) e expedição (Berg, 1999a; Berg *et al*, 1999b; Rowenhorst *et al*, 2000; Chen & Wu, 2005).

Tompkins *et al* (2003) ressaltam que embora o armazém seja dominado de certa forma pela função de armazenamento, as outras atividades funcionam como parte do processo de obter itens para dentro e levá-los para fora do armazém.

Para Gu *et al* (2007) o atendimento a essas atividades requer uma série de questões envolvidas no *design* e no funcionamento do armazém. Quanto às questões de design, destacam-se as seguintes: estrutura global, tamanho e dimensionamento, layout do departamento, seleção de equipamentos e estratégia de operação. No que diz respeito às questões de funcionamento tem-se: recebimento; armazenamento e a atribuição de SKU em departamento ou zona e a atribuição de locais de armazenamento; *order picking* e suas abordagens de lote, roteamento e classificação; e, expedição (Gu *et al*, 2007).

Para Gu *et al* (2007) um esquema de classificação dos problemas de planejamento do design e operações do armazém podem ser representados de acordo com a Figura 2.2. Salienta-se que ambos os problemas contribuem mutuamente para a avaliação do desempenho do armazém.

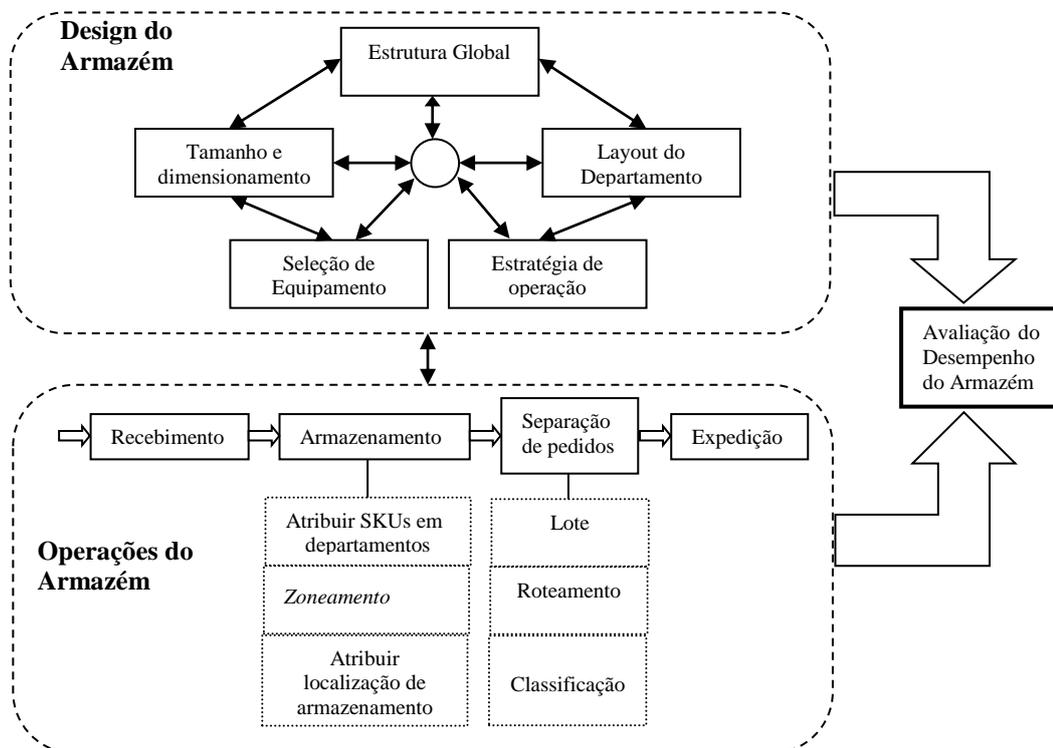


Figura 2.2 – Problemas de Design e Operações do Armazém

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

A partir da Figura 2.2 percebe-se que o recebimento é a primeira etapa da trajetória do produto em um armazém, envolvendo atividades como descarregamento das cargas, conferência da quantidade e da qualidade dos produtos, registro dos produtos (Rodrigues *et al*, 2003; Rowenhorst *et al*, 2000).

A movimentação é o manuseio de pequenas quantidades de produtos dentro do armazém. Essa atividade absorve tempo, mão-de-obra e dinheiro. Uma redução no manuseio dos materiais diminui o risco de dano ou perda do produto (Rodrigues *et al*, 2003).

Para Barros (2005) há dois tipos de movimentação dentro de um centro de distribuição/armazém, a saber: a transferência, que consiste em transferir o material da área de recebimento para o local onde ficará estocado, e a separação que remete a retirada do material da área onde está estocado para o local de consolidação dos pedidos, também denominado de *order picking*, abordado mais a frente.

O armazenamento é a função principal do armazém e preocupa-se com a organização das mercadorias no depósito para alcançar alta utilização do espaço e facilitar o manuseio eficiente de materiais. A função de armazenamento pode ser exposta em três decisões fundamentais, que são: a frequência e o momento em que o inventário é reabastecido, onde o SKU (unidade de manutenção de estoque) é estocado no armazém, e a distribuição e movimento entre as diferentes áreas de armazenamento (Gu *et al*, 2007).

As mercadorias nos armazéns podem ser organizadas em departamentos por meio de diversas formas, a saber: características físicas dos produtos, área de armazenamento para cliente específico, considerações de movimentação de materiais atendendo ao objetivo de pegar rápido (Gu *et al*, 2007).

Dentro dos departamentos os bens podem ser arranjados em zonas de *pick*. Uma zona de *pick* é um conjunto de locais de armazenamento que são frequentemente organizados em proximidade física. Ela tem um subconjunto limitado de SKUs e uma reduzida dimensão física, o que proporciona aos selecionadores uma alta taxa de tempo de extração de SKUs e uma maior familiaridade com os SKUs nas zonas (Gu *et al*, 2007).

Peterson (1999) aborda que o *order picking* é a atividade pela qual uma quantidade de bens é recuperada a partir de um sistema de armazenagem para satisfazer uma série de pedidos de clientes, de modo que é um elo essencial na cadeia de suprimentos. Por se tratar de um tema relevante dentro da literatura de armazenagem será dedicado mais adiante um tópico para uma resumida discussão desta atividade.

Segundo (Rowenhorst *et al*, 2000; Rodrigues *et al*, 2003; Barros, 2005) a expedição é a última etapa a ser realizada no armazém, envolvendo atividades como o carregamento dos produtos nos veículos, conferência do pedido, preparação dos documentos de expedição e pesagem da carga para determinação do custo de transporte.

2.2.7.1 *Order Picking* (Separação de Pedidos)

Daniels *et al* (1998) afirmam que o *order picking* (separação de pedidos) em ambientes de armazém convencional consiste em determinar uma seqüência em que visita-se os locais únicos, onde cada parte do pedido é armazenado.

De acordo com (Berg *et al*, 1999b; Barros, 2005) o *order picking* é quando produtos são solicitados pelos clientes em uma lista de pedidos para serem recuperados do armazenamento e dirigidos aos mesmos. Rowenhorst *et al* (2000) salientam que é a recuperação de itens de seus locais de armazenamento de forma automatizada ou manual.

O tempo para completar um pedido é o momento gasto de percorrer o caminho para locais de armazenamento, procurar o produto, extrair o produto, juntar os produtos, fazer a recuperação de registro e preparar para expedição (Garfinkel, 2005).

Segundo (Berg *et al*, 1999b; Peterson, 1999) a operação mais cara do armazém é o *order picking*, devido ao uso intensivo de capital. Assim, conforme Chan (2011) o controle do sistema de *order picking* é essencial e necessário porque visa minimizar o tempo de *picking* (pegar) de um pedido, dada máxima utilização dos espaços, equipamentos e trabalho, e a acessibilidade a todos os itens. Neste contexto, Bloch *et al* (2008) colocam como alternativa central para minimizar os custos desta atividade a localização eficiente de armazenamento.

Para o *order picking* é necessário escolher um subconjunto de locais que armazenem um item para coletar a quantidade necessária. Tanto a atribuição do inventário quanto a seqüência dos locais visitados afetam o custo de satisfazer um pedido. A tarefa de processamento de pedidos de depósito é o cerne do negócio. Uma vez que essas transações ocorrem com freqüência, pequenas poupanças em cada uma delas podem resultar em economias significativas para a empresa (Daniels *et al*, 1998).

Quanto mais pedidos forem realizados por dia, maior será a quantidade de itens a serem separados e, por sua vez, menores serão os tempos para entregar os produtos. Neste contexto, a operação se caracteriza por ser complexa, aumentando as chances de erro do selecionador, bem como a execução de uma produtividade baixa.

Peterson (1999) destaca que vários fatores afetam preponderantemente o desempenho e a eficiência da operação de seleção, tais como: o padrão da demanda dos itens, a configuração do armazém, a localização dos itens no armazém, o método de *picking* dos itens e a consolidação desses itens em pedidos do cliente, e o método de roteamento utilizados pelos selecionadores para determinar a sequência dos itens a serem colhidos.

O armazenamento exige uma grande quantidade de movimento do produto. O desenvolvimento de eficientes operações de armazenamento pode trazer uma redução considerável na movimentação de produtos. De acordo com Chen & Wu (2005) quatro métodos são utilizados para reduzir os tempos de viagem ou de distâncias: (1) a determinação da rota de *order picking*, (2) o zoneamento do armazém (uma escolha do seletor de pedido é somente de um pedido que está atribuído na sua zona), (3) a atribuição de produtos para os locais corretos de armazenamento e (4) a atribuição de pedidos para lotes.

Gu *et al* (2007) salienta a existência de diferentes métodos de *order picking* para reduzir os tempos de viagem, tais como: separação de pedido único, lotes que são pegos enquanto se classifica, lotes que são pegos e depois se classifica, zona de *picking* sequencial com pedido único, zona de *picking* sequencial com lotes, zona de *picking* simultânea sem lotes nas zonas, zona de *picking* simultânea com lotes nas zonas.

Ruben (1999) versa a respeito dos métodos pelo quais os pedidos dos clientes podem ser pegos, são eles: *order picking* simples (permite que cada pedido do cliente seja recuperado individualmente por somente um selecionador) e *batch picking* (escolher um grupo de pedidos em simultâneo e combiná-los para formar um lote).

O desempenho de *order picking* depende de vários fatores, a saber: políticas de atribuição de local de armazenamento, políticas de roteamento, estrutura de pedidos, sistemas de armazenamento e tamanho máximo do lote (Gu *et al*, 2007).

Ruben (1999) se refere a dois sistemas de recuperação de itens no armazém: *part-to-picker* e *picker-to-part*. O sistema *part-to-picker* corresponde ao meio pelo qual os itens são entregues a um seletor de pedido estacionário por um dispositivo automático. O sistema *picker-to-part* é quando o seletor de viagens se direciona aos locais de armazenamento para recuperar os pedidos. A vantagem deste é que a destreza do selecionador permite que diferentes locais sejam visitados a cada viagem pelo armazém.

2.2.7.2 *Order Batching* (Lotes de Pedidos)

O loteamento consiste em uma estratégia que reúne os mesmos itens de diversos pedidos em um conjunto de itens, o que proporciona vantagens de diminuição das viagens e menor tempo para pegar os itens nos respectivos locais (Lin *et al*, 1999).

Para Chen & Wu (2005) o *order batching* (lotes de pedidos) em um armazém procura alcançar um alto volume de operações de processamento de pedidos através da consolidação de pequenas encomendas em lotes, isto é, do agrupamento de vários pedidos em lotes.

De acordo com Berg (1999a) lote é um grupo de pedidos que é escolhido em uma única visita, de modo que os pedidos de um lote não podem exceder a capacidade de armazenamento do veículo na separação de pedidos. Uma definição de execução do *order batching* é dada pelo *Council of Supply Chain Management Professionals - CSCMP* (2011), tratando-se de um método de separação de pedidos em que os itens são agrupados em lotes menores e um selecionador vai pegar todos os pedidos dentro do lote em uma viagem.

Uma maior produtividade pode ser alcançada por meio do *order batching*. Para isso, os pedidos devem ser consolidados antes das operações de *picking*. *Batch picking* (pegar em lotes) pode ser mais rentável em armazenamento como um resultado da diminuição do tempo médio de viagem por pedido (Chen & Wu, 2005).

Contudo, as soluções ótimas de *order batching* são difíceis e demoradas para serem alcançadas, devido à distância/tempo percorrida para completar um pedido específico, dada uma viagem depender dos outros pedidos que são atribuídos ao passeio. Os gestores de armazém buscam encontrar a maneira mais econômica de pegar os pedidos dos clientes, de modo a proporcionar a minimização dos custos envolvidos em termos de distância percorrida e/ou o tempo gasto (Chen & Wu, 2005).

2.2.7.3 Sequenciamento e Roteamento

Ballou (2006) afirma que o sequenciamento é o arranjo dos itens necessários em um pedido na sequência em que aparecem na rota de separação de pedidos ao longo do armazém. Ressalta-se que o sequenciamento deve acontecer na ordem de venda através da cooperação com o cliente, ou fornecedor, ou então os dados dos produtos podem ser sequenciados a *posteriori* do recebimento do pedido.

Gu *et al* (2007) afirmam que a decisão de sequenciamento e roteamento em operações de *order picking* determinam a melhor sequência e rota de locais para pegar ou alocar nas

áreas de armazenamento um determinado conjunto de itens, com a finalidade de minimizar o custo total de movimentação de materiais. Em locais onde há vários pedidos a serem pegos é mais complexo demarcar a rota de armazenamento de itens.

2.2.7.4 Zoneamento

O zoneamento é uma estratégia que particiona a área de estoque em diferentes zonas de *picking* e, por sua vez, divide um pedido em várias subordens para essas zonas. Para Ballou (2006) o zoneamento significa determinar que os selecionadores de pedidos acatem somente um número limitado dos itens em estoque, ao contrário de roteá-los ao longo de todo o estoque. Portanto, o selecionador de pedidos selecionará o pedido em uma área determinada, de modo que supre apenas parte do pedido do cliente.

O problema de zoneamento se refere a atribuição de SKUs em zonas e especifica distintas zonas dentro de um departamento acessível para armazenamento de um determinado pedido. Quanto a isto, Gu *et al* (2007) distinguem dois tipos de decisão: (1) a decisão rígida, referente a dificuldade da condução de seleção de tecnologia de armazenamento em zonas específicas; (2) decisão flexível, que corresponde a simplicidade da organização de localidades similares de armazenamento.

Gu *et al* (2007) enfatizam que a política de zoneamento objetiva organizar as atividades de *order picking*. Os autores acrescentam ainda que as vantagens de zonas de *picking* são: espaço limitado do selecionador para pegar um pedido, maior familiaridade do selecionador com um subgrupo de SKUs, reduzido tempo de *order picking* para pegar os pedidos em zonas escolhidas paralelamente. Os mesmos observam que a desvantagem pode ser do ponto de vista dos custos adicionais em zonas de *picking* cuja localização ocasione filas.

Segundo Ballou (2006) o zoneamento proporciona as vantagens de utilização equilibrada da força de trabalho e redução do tempo de movimentação na separação. Ele também apresenta algumas desvantagens, tais como: requer separação do estoque em zonas conforme a frequência, peso, semelhança; as ordens de vendas necessitam ser subdivididas e uma lista de separação para cada zona desenvolvida; e as diferentes partes dos pedidos devem ser remontadas em um pedido global antes de deixarem o armazém.

Ademais, apesar do processo de formação de pedidos serem de extrema importância dentro da armazenagem, a localidade em que os produtos estão dispostos tem extrema interferência na efetividade dos processos de busca. Por esta razão uma ênfase é empregada

na seção seguinte em que se trata de estudos de modelos de alocação de produtos utilizando uma série de critérios.

2.3 O problema de atribuição de produtos em armazéns

Petersen *et al* (2005) salienta que a questão de onde estocar os SKUs pode ser resolvida determinando as seguintes prerrogativas: (I) como ordenar ou classificar as SKUs e (II) como atribuir SKUs ranqueados para locais de armazenamento. O autor também relata que as medidas de alocação são usadas para determinar a ordem ou classificação dos SKUs e as estratégias de atribuição de armazenamento são usadas para determinar como atribuir cada SKU aos locais de armazenamento.

De acordo com Gu *et al* (2007) o problema de atribuição de local de armazenamento pode ser definido da seguinte maneira: (a) informações sobre a área de armazenamento, incluindo a sua configuração física e layout de armazenamento, (b) informações sobre os locais de armazenamento, correspondendo sua disponibilidade, dimensões físicas e localização, e (c) informações sobre o conjunto de itens a serem armazenados, abrangendo suas dimensões físicas, a demanda, quantidade e horários de partida e chegada.

Gu *et al* (2007) estabelecem que a determinação do local físico onde os itens serão armazenados está sujeito ao desempenho de critérios e restrições de capacidade e eficiência de armazenamento, capacidade e eficiência do seletor baseado no tempo de ciclo do selecionador, tempo de resposta e a compatibilidade entre produtos e locais de armazenamento e da compatibilidade entre produtos, e política de recuperação de item, tais como FIFO (primeiro a entrar, primeiro a sair), LIFO (último a entrar, primeiro a sair), BFIFO (primeiro lote a entrar, primeiro a sair).

A problemática de localização, dentro do contexto de armazenagem de produtos é bastante difundida na literatura, com inserção de diversas formas de abordagem do problema. Uma investigação faz-se necessária devido aos altos investimentos e custos associados nas alocações desses produtos nos seus respectivos locais, de modo que uma localização eficiente é a mais adequada para motivos estratégicos.

A seleção de localizações para produtos pode ser vista como um problema característico de decisão multicritério, uma vez que a preferência gerencial entre os critérios vai conduzir a decisão final do possível melhor local. Muito esforço tem sido empenhado para o

desenvolvimento de teorias e metodologias que contribuam para a avaliação de preferência e, por sua vez, avaliação da instância da decisão escolhida.

De acordo com (Falkner & Benhajla, 1990; Saaty, 1990; *apud* Ferreira, 2009) dentre as abordagens que tratam o problema de localização dois exemplos de métodos multicritério são mais difundidos: a teoria da utilidade multiatributo (MAUT) e o processo hierárquico analítico (AHP).

2.4 Dimensão Introdutória da Tomada de Decisão Multicritério/ MCDA

A tomada de decisão em qualquer situação é um processo que requer uma forma organizada e cuidadosa de ser feita. Situações de decisão podem ser encontradas em empresas, organizações e nações. Um problema de decisão acontece como resultado de ações que não são controlados pelo decisor. A investigação de uma situação de decisão facilita a seleção final das melhores alternativas (Keeney, 1992).

A tomada de decisão multicritério estabelece uma relação de preferência comparando alternativas avaliadas em vários atributos, ou seja, sob a perspectiva de vários critérios (Bouyssou & Pirlot, 2005).

A definição de critério exposta por Belton (2002) que se refere a “um meio ou padrão de julgamento” implica algum tipo de padrão no qual uma escolha pode ser mais desejável que outra. Quando há um número de escolhas de ações diferentes que entram em conflito, então está evidenciado um problema de tomada de decisão com múltiplos critérios.

Para Gomes *et al* (2009) as características da abordagem multicritério são as seguintes: processos decisórios complexos com vários atores envolvidos na definição dos aspectos importantes de decisão, no qual cada ator tem seu juízo de valor, reconhece os limites da objetividade e admite a subjetividade, e o pressuposto é que o problema não está claramente definido e estruturado.

Para Belton (2002) em contextos de problema de decisão com vários critérios, os decisores são confrontados com escolhas que são substanciais, os impactos são de longo prazo e podem afetar muitas pessoas, e os erros não podem ser facilmente sanados. A essência dos problemas é a ampla quantidade de informações de natureza complexa e conflitiva, com pontos de vista divergentes, mutável com o tempo e, por isso, nestas circunstâncias as ferramentas e os métodos multicritério de apoio a decisão são de suma importância.

Roy (1996) define apoio a decisão como “a atividade que por meio do uso de modelos explícitos, mas não necessariamente formalizados por completo, busca obter elementos de respostas a determinadas questões colocadas pelas partes envolvidas em um processo de decisão”.

De acordo com Belton (2002) um dos objetivos principais da abordagem MCDA é ajudar os decisores a organizar e sintetizar as informações de forma a leva-los a se sentir confortável e confiante em tomar uma decisão, minimizando o potencial de arrependimento pós-decisão por se considerar que todos os critérios ou fatores foram devidamente levados em conta e que, portanto, a análise intuitiva já não é mais satisfatória.

Diante do exposto, conforme Belton (2002), o objetivo do MCDA é facilitar a aprendizagem e compreensão do problema enfrentado pelos tomadores de decisão, bem como os seus próprios problemas, os valores e objetivos das organizações, e por meio da exploração orientá-los na identificação da escolha preferida.

Roy (1996) afirma que o modelo de decisão multicritério vai considerar uma representação de classes de fenômenos em que o observador retira cuidadosamente informações para ajudar na investigação e facilitação da comunicação em um determinado ambiente.

Uma abordagem multicritério possibilita as seguintes vantagens: constituição de uma base de diálogo entre os interventores a partir dos diversos pontos em comum; maior facilidade para incorporar incertezas aos dados; encarar cada solução como um compromisso entre objetivos em conflito, isso significa que dificilmente será encontrada uma situação na qual exista uma ação que seja superior as demais de todos os pontos de vista (Bouyssou, 1993 *apud* Gomes, 2004).

A seguir são apresentados alguns conceitos básicos sobre o apoio multicritério a decisão, discorrendo sobre as problemáticas de referência, os procedimentos para estruturação do problema e os métodos multicritério, especificamente o utilizado no trabalho.

2.4.1 Tipos de Problemáticas em Apoio Multicritério a Decisão

De acordo com Almeida (2011) o tipo de problemática é considerado uma das principais questões a ser considerado na escolha do método. Para Belton (2002) o resultado a ser alcançado em determinado problema pode ser identificado pelas seguintes problemáticas principais: escolha, classificação, ordenação e descrição.

A finalidade da problemática de escolha é elucidar a decisão pela escolha de um subconjunto de espaço de ações.

Quanto à problemática de classificação, ela surge quando um conjunto de ações potenciais deve ser classificado em uma categoria dentre uma família de categorias pré-definidas (Figueira *et al*, 2005; ROY *et al*, 2005).

A problemática de classificação permite classificar ações de acordo com normas ou então auxilia na construção de um procedimento de atribuição. Portanto, o problema é apresentado em marcos de classificação de ações em categorias, em que essas são baseadas a partir de normas relacionadas ao valor intrínseco das ações. Logo, cada uma das categorias é determinada em função do tratamento dado as ações da categoria (Vincke, 1992).

Figueira *et al* (2005) salienta que cada ação é considerada independente uma das outras quando na determinação das categorias as que a ação pode ser enquadrada por meio dos limites das categorias. Vincke (1992) adverte que a classificação atribui cada ação a exatamente uma das categorias desenvolvidas para nortear a decisão e, por isso, é necessário que cada categoria de base possua uma definição que lhe seja particular.

A problemática de ordenação tem como objetivo ordenar, isto é, ranquear todas as ações que estão inseridas dentro do contexto do modelo de decisão. Por fim, a problemática de descrição procura apoiar a decisão por meio de uma descrição das ações e de suas consequências.

Para Moraes (2006) os problemas reais podem ser uma mistura de escolha, classificação e ordenação, ou uma descrição dos mesmos.

2.4.2 Procedimentos para modelagem de problemas multicritério

Almeida (2011) apresenta as etapas da natureza do processo de modelagem MCDA sintetizando-as em 12 grupos. Assim sendo, temos as seguintes etapas:

(1) Identificação do decisor: decisor (res) e outros atores envolvidos; (2) Identificação dos objetivos; (3) Especificação dos critérios; (4) Estabelecimento da estrutura do espaço de ações, da problemática, e geração de alternativas; (5) Avaliação e identificação de fatos relevantes que não estão sob o controle do decisor: adota-se uma abordagem discreta e probabilística; (6) Modelagem de preferências do decisor, sendo a base para a escolha do método multicritério: realizada de forma integrada com as próximas duas etapas, implica na racionalidade do decisor em uma abordagem compensatória ou não-compensatória; (7)

Avaliação intra-critério: relacionado a forma como os critérios foram estabelecidos, consiste na elicitación da função utilidade ou função valor para cada critério, exercendo importância para o caso em que a função não é linear, no caso da função ser linear pode-se efetuar uma normalização diretamente sobre as consequências; (8) Avaliação global das alternativas; (9) e Avaliação inter-critério; (10) Análise de sensibilidade; (11) Análise dos resultados e elaboração do plano de recomendação para o decisor; (12) Implementação da decisão.

Para Almeida (2011) a ordem de apresentação não implica em um cumprimento rígido da sequência mencionada e que o processo requer um *feedback*, isto é, um refinamento das etapas anteriores a medida que elas vão sendo desenvolvidas.

De acordo com Winterfeldt (1980) o passo mais importante na análise de decisão é a estruturação de um problema de decisão. O autor afirma que o processo de estruturação busca representar o ambiente (objetivos), partes do problema de decisão e os tomadores de decisão. A forma de representação do problema por meio de gráficos, equações funcionais, matrizes, árvores, fluxogramas e diagramas, ajudam a facilitar os passos da estruturação.

2.4.3 Métodos Multicritério de Apoio a Tomada de Decisão

Os métodos de apoio multicritério à decisão começaram a surgir na década de 70, com o objetivo de auxiliar o decisor a tomar decisão de modo racional nos problemas em que vários eram os objetivos a serem alcançados de forma simultânea. Esses métodos têm um caráter científico e subjetivo, com capacidade de agregar as características consideradas importantes, para a finalidade de permitir a transparência e a sistematização do processo concernente aos problemas de tomada de decisões (Gomes, 2004).

Os métodos multicritério permitem uma visão macro do problema e também incorporam características intrínsecas a sua metodologia, tais como: a análise do processo de decisão que objetiva identificar informações críticas, melhor compreensão das dimensões do problema, possibilidade de haver diferentes formulações válidas para o problema, aceitação de que as situações nem sempre se ajustam a um perfeito formalismo e a utilização de uma estrutura de preferências pode ser mais apropriada do que uma representação numérica (Gomes 2004).

Diante destas características, busca-se representar o mais fielmente possível as preferências do decisor. Ressalta-se que o estudo do problema de decisões não procura

apresentar ao decisor uma solução para o problema, mas o seu objetivo é o de apoiar o processo de tomada de decisão ao recomendar possíveis ações a quem vai tomar a decisão.

Para Morais (2006) a importância dos métodos multicritério como instrumento de apoio a decisão se dá pelo fato de que estes não permitirão a existência de uma solução ótima, mas conduzirão a procura de uma melhor solução, considerando o dilema dos critérios conflituosos.

Almeida (2011) aponta que há vários métodos para o tratamento de problemas com múltiplos objetivos. Para o autor uma classificação usual de métodos multicritério de apoio a decisão é tratada por Roy (1985) da seguinte forma: métodos de critério único de síntese, métodos de sobreclassificação e métodos interativos.

Os métodos de critério único de síntese são aqueles que agregam os critérios em um único critério de síntese que poderá ser maximizado. Esses métodos são da Escola Americana e consistem em verificar as condições matemáticas de agregação, as formas da função da agregação e a construção do método. Isso quer dizer que quando o decisor é indagado, o tal responde de forma coerente com um determinado tipo de função U não conhecida. Nesta família de métodos destaca-se a Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT). Outros métodos também fazem parte desta família, a saber, o SMARTS, AHP, MACBETH.

Os métodos de sobreclassificação, também podem ser chamados de métodos de superação, ou prevalência, ou síntese. Existem vários métodos de sobreclassificação, dentre os quais se destacam os da família *Electre* e da família *Promethee*. Os métodos de ambas as famílias têm a sua origem na Escola Francesa de Apoio Multicritério à Decisão.

De acordo com Morais (2006) esses métodos aceitam a incomparabilidade e eles consistem em um primeiro momento na construção de uma relação de sobreclassificação que representa as preferências colocadas pelo decisor e, posteriormente, segue-se a exploração dessas relações com a finalidade de auxiliar o decisor na resolução do problema.

Os métodos com enfoque interativo, conforme Morais (2006) permitem interações entre os cálculos, de modo a receber informações extras com relação às preferências do decisor. Pode-se citar, neste contexto, o desenvolvimento de estruturas de programação matemática com múltiplos objetivos.

Este trabalho se concentrará no enfoque de critério único de síntese, buscando no decorrer do processo construir um modelo que se apresente o mais formalizado possível para o desenvolvimento do processo de apoio a decisão, que seja coerente com os objetivos e o

sistema de valores dos atores. O SMARTER será o método utilizado no estudo em questão e será descrito adiante.

Para que não houvesse distorções no entendimento conceitual, admitiu-se que no decorrer deste trabalho as expressões ‘utilidade’ ou ‘função utilidade’ foram substituídas, respectivamente, pelos termos ‘valor’ ou ‘função valor’, uma vez que o estudo não se propõe avaliar atitudes de risco oriundas de incertezas, que são abordadas por funções utilidade.

2.4.3.1 O método SMARTS e SMARTER

O método Smarter é uma variante do método Smarts e caracteriza-se por ser aplicável em problemas de natureza compensatória em que se faz uso do procedimento de agregação aditivo das alternativas por critérios.

Os Métodos Smarts e Smarter possuem formas diferentes de elicitação de pesos e ambos corrigem um erro intelectual em Smart usando *swing weights*. O Smarts utiliza as duas etapas do *swing weights* enquanto que o Smarter usa a primeira etapa e na segunda implementa o procedimento ROC (*Ranking Order Centroid*) para determinação dos pesos. Essa é a diferença básica entre os métodos Smarts e Smarter (Edwards & Barron, 1994).

O Smarter utiliza pesos ordenados para eliminar a fase de julgamento mais difícil do Smarts. A facilitação da elicitação ajuda na escolha e utilização deste método nos mais diferentes contextos (Edwards & Barron, 1994).

Os métodos Smart, Smarts e Smarter ignoram a utilização de uma modelagem de risco em seu processo de tomada de decisão e, portanto, não fazem uso de distribuições probabilísticas. O uso destes métodos são justificados no contexto em que não há uma predominância das incertezas sobre os aspectos inerentes ao problema. Além disso, devido a simplicidade dos métodos, erros provenientes do processo de elicitação são poupados, contudo há situações em que as hipóteses simplificadoras destes métodos podem ser demasiadamente reducionista. Este compromisso é explicado pelos autores como o *tradeoff* entre o erro de modelagem e o erro de elicitação (Edwards & Barron, 1994).

Almeida (2011) afirma que o Smarts é um método de agregação aditivo proposto por Edwards & Barron *et al* (1994) dentro da tomada de decisão multiatributo. Este método apresenta características como: o procedimento de peso por *swing* para o alcance das constantes de escala e considera funções de valor lineares para avaliação intra-critério.

Edwards & Barron (1994) relatam que Smarts usa aproximações lineares para as funções valor unidimensionais, bem como um modelo de agregação aditiva e constantes de escala.

Quanto ao procedimento de pesos por *swing*, Almeida (2011) afirma que este considera a faixa de variação do critério, isto é, o valor máximo e o valor mínimo do critério, de modo que esses valores extremos são utilizados para efetuar a comparação entre os diversos critérios. Com outras palavras, o procedimento *swing* considera a faixa de valores das consequências, buscando obter as possíveis constantes de escala da função.

Almeida (2011) e Edwards & Barron (1994) afirmam que os métodos Smarts e Smarter são conduzidos por meio das seguintes fases:

Fase 1: Propósitos e decisores – o decisor é identificado e os propósitos da elicitación de valor do problema em análise são colocados. Portanto, a uma especificação da natureza da estrutura e dos números para serem elicitados, bem como a forma com que estes últimos deverão ser usados.

Fase 2: Obtenção da estrutura dos atributos – são determinados os objetivos juntamente com as variáveis que irão representá-los, denominadas de atributos.

Fase 3: Estabelecimento das alternativas

Fase 4: Construção da matriz de consequências – consiste na obtenção da matriz com todas as consequências para cada alternativa em função de cada critério, ou seja, matriz atributos versus alternativas.

Fase 5: Eliminação das alternativas dominadas – são eliminadas as alternativas dominadas, tomando-se cuidado para que não se reduza drasticamente a faixa de valores dos atributos, uma vez que isto é relevante no processo de obtenção das constantes de escala. Observa-se a eliminação de alguma alternativa não elevou muito o valor mais baixo em algum critério.

Fase 6: Construção da matriz de avaliação – consiste na avaliação intra-critério, isto é, a obtenção das funções valor de todos os critérios (ou atributos). Efetua-se a conversão para uma mesma escala de avaliação, para os atributos cujas consequências são apresentadas na forma de avaliação subjetiva. Admite-se a execução da transformação de escalas, assumindo que a função valor para cada atributo é linear. Quando o critério é qualitativo deve-se efetuar uma elicitación da função valor com o decisor (avaliação intra-critério). Considerando uma função linear, a tarefa consiste em avaliar a melhor e a pior consequência, que terão valores

extremos na escala: 0 e 1, sendo que as consequências dentro destes dois extremos recebem valores proporcionais, a partir da relação linear.

Fase 7: Efetuação da primeira parte do *swing* para ordenação dos critérios. Utiliza-se o procedimento *swing* para ordenar os critérios. Procura-se incluir na matriz de avaliação uma alternativa hipotética que tem o pior desempenho em todos os critérios, tendo o valor 0. Os seguintes questionamentos são feitos: (1º) Ao escolher a alternativa de pior desempenho, se você pudesse melhorar o desempenho desta alternativa em apenas um dos critérios para o valor máximo, que critério você escolheria? Tal critério escolhido será o que tem o maior valor de constante de escala; (2º) Podendo ainda melhorar o desempenho da alternativa em apenas um dos critérios restantes, qual critério escolhido? O critério escolhido terá o segundo maior valor de constante de escala. Os questionamentos continuam até que todos os critérios tenham sido avaliados.

Fase 8: Efetuação da segunda parte do *swing* para obtenção dos pesos. A partir do posicionamento dos critérios, por meio do *swing*, segue-se agora a obtenção dos pesos, ou seja, constantes de escala. Dessa forma, em uma escala de 0 a 100, o peso 100 é atribuído ao critério que tem a maior importância e o peso 0 ao critério de menor importância. Para a normalização dos pesos é efetuado o seguinte procedimento para transformação de escala: $v'_j(a_i) = v_j(a_i)/[\sum_i v_j(a_i)]$. Tal procedimento caracteriza-se por: divisão pela soma, os valores de $v'_j(a_i)$ são obtidos nos intervalos $0 \leq v'_j(a_i) \leq 1$, pode ser interpretado como sendo um percentual do total $\sum_i v_j(a_i)$.

Fase 9: Efetuação da agregação aditiva e escolha. Aqui são calculados os valores de cada alternativa com o procedimento de agregação aditivo de acordo com as constantes de escala (pesos) alcançados na fase anterior. Por fim, o passo final constitui-se na análise de sensibilidade.

Edwards & Barron (1994) mostram que após o conhecimento de $u(x)$ para cada dimensão de valor, o passo seguinte é determinar como agregar os valores do vetor de $u(x)$ em uma escala. Os autores afirmam que uma forma simples é a agregação aditiva, por meio de um modelo aditivo.

O modelo é o seguinte: $U_h = \sum_{k=1}^k w_k u_h(x_{hk})$, onde h é o número de objetos de avaliação/alternativas, k é um índice das dimensões de valor, $u_h(x_{hk})$ são os valores unidimensionais e w_k são os pesos para cada dimensão de valor. O somatório dos pesos deve ser igual a 1.

Para o caso da utilização do método Smarter segue-se todas as fases supracitadas do Smarts, exceto a fase 8, que é conduzida de forma diferente, a saber:

Fase 8: Obtenção dos pesos. Para Edwards *et al* (1994) os autores Barron e Barret's (1996) desenvolveram o *Ranking Order Centroid* (ROC) justificando ser um procedimento que transforma a ordem dos critérios em pesos, isto é, os critérios que forem ordenados nas primeiras posições receberão um peso maior que os subsequentes. Este procedimento é a razão fundamental para a definição do método Smarter.

As ideias subjacentes a este procedimento são: (1) sabe-se que as somas dos pesos não-negativos por convenção deve ser igual a 1, (2) pode fazer uso de vetores com pesos iguais para cada atributo, (3) ponto que descreve a igualdade dos pesos na hiper-superfície (simplex) de todos os pesos possíveis é um centroide, (4) é direta a especificação dos pontos extremos do menor simplex consistente com o conhecimento da ordenação e deles especificar seu centroide, (5) as equações para o cálculo dos pesos tem uma fórmula computacional conveniente, a saber:

$$\begin{aligned}w_1 &= (1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/n)/n \\w_2 &= (0 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/n)/n \\w_3 &= (0 + 0 + 1/3 + \dots + 1/n)/n \\w_n &= (0 + 0 + 0 + \dots + 1/n)/n\end{aligned}$$

Sendo que n é o número de critérios e que $w_1 \geq w_2 \geq \dots w_i \geq \dots \geq w_n$. Ou então, genericamente, o peso do N-ésimo critério é: $w_k = \left(\frac{1}{k}\right) * \sum_{i=k}^n \left(\frac{1}{i}\right)$.

Para Almeida (2011), o Smarter pode ser útil em situações que o decisor não deseja efetuar elicitación de magnitude dos pesos. Observa-se que em grande parte das aplicações, o decisor não se sente confortável no processo de atribuição de valores para os pesos, o que faz do Smarter uma opção bastante adequada.

Após uma análise conceitual feita neste capítulo, segue-se uma análise mais detalhada dos aspectos que são de suma importância para a compreensão e resolução do problema proposto, a luz da investigação de uma revisão da literatura pertinente.

3 Atribuição de Produtos em Armazém

Neste capítulo serão abordados os pontos mais importantes para o desenvolvimento do problema proposto. Assim sendo, será descrito o problema da localização de produtos, de modo a considerar todas as variantes deste problema e as políticas ou método de resolução mais utilizada na atribuição de produtos para as localidades dentro do armazém.

Será apresentada uma revisão bibliográfica que se mira nos aspectos de estudos já desenvolvidos nesta área, para fins de tratamento mais sólido da temática proposta neste estudo.

No que concerne ao problema de atribuição de produtos a localidades numa visão de utilização de múltiplos critérios, pode-se perceber que tal temática é de natureza muito específica e que, portanto, é raramente encontrada na literatura pertinente. Entretanto, a de se considerar que existem vários estudos que tratam de políticas de atribuição de localidades monocritério.

A localização de produtos no armazém tanto está vinculada aos objetivos estratégicos empresariais quanto ao atendimento em tempo hábil das expectativas dos clientes. São dois extremos, empresários e consumidores, que estão ligados pela alocação de produtos no armazém, uma vez que os atendimentos dos objetivos custo e disponibilidade contribuirão para a maximização da satisfação de ambas as partes.

Diante do exposto, será apresentada uma revisão da literatura que faz um exame acerca dos problemas de atribuição de produtos em diferentes contextos e aplicações mais gerais e no que concerne a problemática em questão.

Antes de adentrar-se na forma específica de tratamento do problema pela literatura, é necessário e pertinente abordar algumas questões que estão vinculadas ao atendimento dos objetivos do estudo e que estão envolvidas diretamente com o estabelecimento de formas, medidas e políticas que contribuem para uma alocação eficiente de produtos as suas respectivas localizações.

3.1 Layout do Armazém

Ballou (2006) relata que após delinear a configuração do edifício, a determinação dos pontos de entrada e saída, a formação dos blocos de espaço e determinação do sistema de manuseio de materiais, faz-se necessário a tomada de decisões no que diz respeito às áreas em

que cada item ficará localizado, como serão ordenados e qual o método que pode ser utilizado para a localização de estoques no armazém.

O *layout* de armazém é idealizado para atender necessidades específicas, bem como depende do sistema de manuseio de materiais escolhido e requer um plano de utilização da área favorável com a finalidade de facilitar a movimentação de materiais (Bowersox & Closs, 2008).

Segundo Moura (1997) a concretização de uma operação eficiente de armazenagem depende muito da boa formação de um *layout* do armazém, visto que ele determina o grau de acessibilidade ao material, os modelos de fluxo de itens, os locais de estocagem, o bom desempenho da mão-de-obra, dentre outros. O autor ainda enfatiza que o *layout* tem por objetivos: asseverar a utilização máxima do espaço, possibilitar a eficiência na movimentação de materiais, permitir a estocagem mais econômica, propiciar flexibilidade para as necessidades de mudança de estocagem, fazer do armazém um modelo de boa organização.

A localização do estoque no armazém incide diretamente nas despesas de manuseio de materiais dos produtos no âmbito do espaço correspondente. Ballou (2006) alega que certas áreas do armazém são projetadas de acordo com as necessidades de estocagem e da ocupação integral do espaço, enquanto as outras podem ser projetadas a partir das necessidades de separação de pedidos e do tempo mínimo de movimentação para o atendimento dos pedidos dos clientes.

De Koster (2007) menciona que o *design* do *layout*, dentro do contexto de *order picking*, contém dois problemas: *layout* das instalações que fazem referência a decisão de onde localizar vários departamentos, tais como, recebimento, *picking*, armazenamento, triagem e expedição; e o *layout* dentro do sistema de *order picking*, que trata da determinação do número de blocos, quantidade, comprimento e largura dos corredores em cada bloco de um local de *picking*. A finalidade é encontrar uma combinação entre os *layouts* para que seja possível diminuir a distância a ser percorrida dentro do armazém.

3.2 Custos da Armazenagem

Para Faria e Costa (2010) o desafio da gestão dos custos de armazenagem está em garantir que as estratégias de armazenagem e a administração de custos sejam compatíveis com as estratégias de serviço da empresa.

Segundo Ballou (2009) existem três classes diferentes de custos na administração da armazenagem, a saber: os custos de manutenção de estoque, que correspondem a todos os custos necessários para manter uma quantidade de bens em um determinado período de tempo, custos de compra, que são referentes ao processo de aquisição das quantidades requeridas para reposição de estoque, e os custos de falta que estão associados ao fato de quando houver demanda por bens em falta no estoque.

De acordo com Moura (1997) a redução de custos de armazenagem pode ser conquistada pela eficiente integração entre os métodos de estocagem, administração do inventário e do manuseio, práticas operacionais, dentre outras.

Trigueiro (2001) afirma que uma má organização da manutenção dos estoques pode acarretar em custos associados a perdas em descontos, despesas com paralizações na produção, perdas associadas à insatisfação de clientes, perdas por obsolescência de certos itens, despesas associadas com maior volume de transporte e manuseio, despesas vinculadas à ocupação de espaço em excesso e despesas com excesso de pessoal.

3.3 Atribuição de Produtos para Locais de Armazenamento

Berg *et al* (1999b) relatam que as questões típicas em armazéns são a gestão do inventário e a atribuição de local para armazenamento. O autor afirma que a primeira determina quais os produtos devem ser armazenados no depósito e em que quantidades, enquanto que o problema de atribuição de local para armazenamento (*Storage Location Assignment Problem - SLAP*) estabelece como e onde estes devem ser colocados dentro do armazém.

Goetschalckx & Ratliff (1990) afirmam que a política de atribuição de armazenamento é um conjunto de regras que determina onde as unidades de cargas de diferentes produtos estão localizadas em um armazém.

Para Pan & Wu (2009) as políticas de atribuição de armazenamento tem o objetivo de proporcionar meios para uma eficiente atribuição de itens em um armazém, de modo a contribuir para que o tempo de separação de pedidos seja reduzido.

Chan & Chan (2011) mencionam que a determinação adequada dos locais de armazenamento para uma grande quantidade de produtos é uma das principais questões a serem enfrentadas por um gerente de armazém.

Podem-se destacar vários elementos que afetam a atribuição de armazenamento e que, portanto, os gerentes devem estar atentos, os quais podem ser: características dos produtos, tamanho e o layout do sistema de armazenamento, comportamento da demanda, as taxas de volume de negócios, requisitos de espaço, o método *order picking*, sistema de movimentação de materiais, dentre outros (Chan & Chan, 2011).

Brynzer *et al* (1996) menciona que na atribuição de itens em locais de armazenamento, as características analisadas dos componentes podem ser frequência, tamanho, peso, número de peça, fornecedor.

Berg (1999a) acrescenta outras características, tais como: a forma, o volume, percibibilidade, taxa de demanda, tamanho para pegar, quantidade de entrega, tipo de módulo de armazenamento.

Uma política eficiente de atribuição de locais para armazenagem reduz o tempo médio de viagem para o armazenamento e a separação de pedidos, distribui uniformemente as atividades dos subsistemas de armazém, reduz o congestionamento nos corredores, e as atividades podem ser mais bem organizadas, possibilitando uma elevada capacidade de processamento (Berg *et al*, 1999b).

Garfinkel (2005) considera que a localização dos produtos dentro do armazém tem implicações substanciais sobre o tempo para atendimento dos pedidos, de modo que a alocação em áreas que permita reduzir o tempo de viagem possibilita o alcance de reduções significativas no custo de operação de armazenagem.

Adiante segue as principais políticas encontradas na literatura que abordam diversas formas de atribuições de itens para os diversos locais do armazém.

3.3.1 Políticas de Organização de Produtos no Armazém

Segundo Gu *et al* (2007) o problema de atribuição de locais para armazenamento (SLAP) sob a perspectiva da informação da chegada e saída dos produtos no armazém, pode ser dividido em três vertentes: (i) informação do item, (ii) informação do produto, (iii) nenhuma informação.

A perspectiva baseada na informação do item é presumida pela informação completa do tempo de chegada e saída dos itens individuais, de modo que dois itens podem ocupar o mesmo espaço de armazenamento, sem que seja ao mesmo tempo. A segunda perspectiva de SLAP caracteriza-se quando a informação do produto é conhecida sobre os itens a serem

estocados, como por exemplo, tamanho e taxa de utilização; um item é atribuído a uma classe de produtos baseados em suas características. Em último, a classe de SLAP baseada na ausência de informação sobre as características dos itens que chegam só permite as aplicações de políticas de armazenamento simples, como por exemplo: o armazenamento aleatório (Gu *et al*, 2007).

De acordo com Rosenblatt & Eynan (1989) as políticas de armazenamento vão depender da natureza das características do armazém. Segundo (Hausman *et al*, 1976; Petersen *et al*, 2004; Chan & Chan, 2011) três políticas de atribuição de armazenamento são apresentadas como possíveis soluções para resolver o problema de atribuição de locais para armazenamento, a saber: armazenamento aleatório, armazenamento dedicado, armazenamento baseado em classe.

Segundo Brynzer *et al* (1996) o armazenamento aleatório permite que os produtos sejam estocados em qualquer lugar da área de armazenamento. Petersen *et al* (2004) relatam que o armazenamento aleatório caracteriza-se por usar toda área destinada ao armazenamento de forma uniforme e por reduzir o congestionamento nos corredores do armazém. Além do mais é um tipo de armazenamento de fácil execução exatamente por permitir que os produtos sejam colocados em qualquer lugar do armazém.

O armazenamento dedicado remete que cada local somente pode ser usado para um produto específico e, portanto, cada item tem sua própria classe de alocação. Política de armazenamento dedicado, a qual exige um local de armazenamento especial, de modo que esse local específico é reservado para as unidades de um único produto durante todo o tempo planejado (Goetschalckx *et al*, 1990).

Petersen & Schmenner (1999) destacam que com base nesta política os SKUs de maior demanda são dedicados para os locais mais próximos do ponto de entrada ou saída. Assim, uma vantagem apresentada é a redução no tempo de viagem e na sua distância. Por outro lado, a desvantagem pode ser vista pela possibilidade de congestionamento do corredor e, assim, fica notável o uso desequilibrado do armazém.

A política de armazenamento baseada em classe caracteriza-se por alocar produtos em determinadas classes dentro do armazém (Brynzer *et al*, 1996). Esta política será tratada mais detalhadamente no subitem seguinte.

A armazenagem aleatória, dedicada e baseada em classes são três tipos de estratégias populares de armazenamento utilizadas pelas empresas como forma de melhor organizar os

armazéns, sendo que cada tipo possui pontos positivos e negativos, conforme pode ser observado no Quadro 3-1:

Quadro 3-1 - Políticas de Armazenamento - Vantagens e Desvantagens

TIPOS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
ARMAZENAMENTO ALEATÓRIO	<ul style="list-style-type: none"> • Simples de usar • Requer menos espaço • Melhor nível de utilização das localidades • Produtos armazenados em qualquer local • Gera menor custo de espaço • Armazém pode ter um tamanho menor • Implementação do armazém é simples 	<ul style="list-style-type: none"> • Seleção do local é aleatória • Maior tempo de <i>picking</i> e custo de <i>picking</i> • Maior desorganização do armazém • Exige maior esforço para controlar com precisão a faixa de estoque • Requer menos espaço que os demais tipos de armazenamento
ARMAZENAMENTO DEDICADO	<ul style="list-style-type: none"> • Local reservado para um único produto durante o horizonte de tempo • Gera menor custo de separação de pedidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Exige um local de armazenamento específico • Armazém grande para estocar o máximo de produtos simultaneamente • Considera uma classe para cada produto • Os selecionadores se familiarizam com a localização dos produtos • Requer altos requisitos de espaço • Utilização do espaço é de frequência baixa • Locais são reservados mesmo para produtos que estão fora do estoque • Número de classes igual ao número de produtos
ARMAZENAMENTO BASEADO EM CLASSES	<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecem-se classes de produtos • Armazena-se aleatoriamente dentro de várias classes • Utilização mais flexível do espaço • Melhor utilização/aproveitamento dos espaços • Considera mais o custo de pegar • Redução de custos com economia de espaço • Maior eficiência ao armazenar dos itens que se movem rapidamente próximo do ponto I / O • Gera menor custo de <i>order picking</i> e possivelmente menor custo de espaço • Minimiza o tempo de ciclo do pedido • Impacto significativo no espaço necessário e no custo de manuseio de materiais em armazéns 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade para determinar onde cada carga será armazenada • Muitas combinações de produtos na formação de classes podem resultar em soluções de qualidade inferior • Ignora mais o custo de espaço • Número de classes menor que o número de produtos • Requer mais espaço que o armazenamento aleatório

Fonte: Chen *et al* (2008); De Koster *et al* (2007); Gu *et al* (2010); Gu *et al* (2007); Goetschalkx *et al* (1990); Kovacs (2008); Muppani *et al* (2008); Petersen *et al* (2004); Petersen *et al* (2005); Roodbergen & Vis (2009).

Graves *et al* (1977) colocam que tais políticas são utilizadas de forma direta na programação de atuais sistemas para melhoria do rendimento e indiretamente na concepção de novos sistemas para atingir um equilíbrio entre a produtividade e sua capacidade de armazenamento.

Outra política de armazenamento é a de produtos correlatos que objetiva estocar produtos perto uns dos outros caso sejam solicitados de forma simultânea Gu *et al* (2007).

Berg *et al* (1999b) dentro do problema de atribuição de localização para armazenagem assinala mais outras duas formas de armazenamento, a saber: armazenamento de produtos na área de frente ou na área de reserva. Esta divisão é popular e reduz a quantidade de trabalhos relacionados com o *order picking*. O autor relata que a área de frente é usada para separação de pedidos de forma eficiente, enquanto que a área de reserva faz um armazenamento a granel e serve para reabastecer a área de frente.

Rowenhorst *et al* (2000) realçam que a área de frente serve para fácil recuperação de *order picking* e para armazenamento de quantidades menores de produtos, enquanto que a área de reserva é onde os produtos são armazenados na forma mais econômica.

Bloch *et al* (2008) enfatizam que a capacidade de cada local na área de frente é limitada e, ainda, expõe que o custo de atribuição do local de armazenagem nesta área é dependente do custo de atribuição de local de armazenamento na área de reserva, que são respectivamente o custo de roteamento e o custo de reposição. O custo da área de reserva também depende da área da frente.

Segundo (Gu *et al*, 2007) o objetivo de determinar quais SKUs deve ser armazenado na área de frente e em que quantidade, é de minimizar os custos totais de *order picking* e reabastecimento.

Na percepção de Gu *et al* (2007) a questão da atribuição de armazenamento inclui as decisões de atribuição dos SKUs para os departamentos e da atribuição de SKUs para diferentes zonas dentro do departamento. O mesmo ainda ressalta que há dois critérios na tomada destas decisões, que são: a eficiência do armazenamento, correspondente a capacidade de exploração, e a eficiência de acesso, concernente aos recursos consumidos pelos processos armazenar e de *order picking*.

Quanto à atribuição de SKUs em departamentos, é necessário saber qual item deve ser armazenado, em qual departamento, em que quantidade, e quais são os movimentos interdepartamentais para o SKU. Observa-se que um departamento pode ser indicado para um

cliente específico, o que vai depender da capacidade do departamento em termos de armazenamento e de manuseio de materiais (Gu *et al*, 2007).

Em síntese, o SLAP atribui produtos para os locais de armazenamento em departamentos ou zonas para reduzir o custo de manuseio de material e melhorar a utilização do espaço. Distintas políticas de SLAP podem ser usadas em diferentes departamentos, tal fato depende do perfil do SKU específico do departamento e da tecnologia de armazenamento envolvida (Gu *et al*, 2007).

3.3.1.1 Política de armazenamento baseada em classe

O armazenamento aleatório caracteriza-se pelo espaço de armazenamento ser uma classe única, o armazenamento dedicado corresponde a uma classe para cada produto específico e o armazenamento baseado em classe permite a construção de várias classes onde os vários produtos podem ser inseridos.

A política de armazenamento baseado em classe envolve a formação de números de classes, a atribuição de produtos para as classes e os locais de armazenamento para cada classe, conforme Gu *et al* (2007).

O armazenamento baseado em classe serve de alternativa para armazéns de empresas que possui uma alta quantidade de famílias de produtos para serem armazenadas. Para isso, o autor ressalta a necessidade de definição de critérios de divisão para que tal política proporcione um eficiente planejamento por meio da redução de custos do armazém (Atamanczuk, 2009).

Gu *et al* (2007) afirmam que os produtos podem ser classificados em classes por meio das informações obtidas sobre os produtos a serem armazenados, ou seja, por meio das características dos próprios produtos, tais como: tamanho, taxa de utilização, popularidade, espaço, dentre outros. Tais características são usadas como critérios para atribuir os produtos para os locais de armazenamento.

O armazenamento aleatório e baseado em classe permite o armazenamento de unidades sucessivas de produtos diferentes na mesma área e, por isso, são conhecidas como políticas de armazenamento compartilhado. Ou seja, dentro de certa classe os produtos classificados nos paletes ou *racks* são armazenados aleatoriamente dentro da própria classe (Hausman *et al*, 1976).

De acordo com Hausman *et al* (1976) o armazenamento baseado em classe distribui os produtos baseado em sua taxa de demanda entre um número de classes e para cada classe

reserva-se uma região dentro da área de armazenamento, de modo que uma determinada quantidade de itens é estocada em um local arbitrário aberto dentro de sua classe. Isto é, os *racks* e paletes são divididos em classes e os produtos são atribuídos a uma destas classes, de modo a considerar somente o tempo de ida, baseando-se no volume de negócios.

Para Chen *et al* (2008) no armazenamento em classes itens são divididos em um número pequeno de classes com base nas suas taxas de volume de negócios e que, portanto, itens com maior volume de negócios são armazenados em lugares mais acessíveis.

Petersen *et al* (2004) afirmam que uma vantagem do armazenamento baseado em classe é que as quantidades de viagens nos corredores do armazém são bem menores do que no armazenamento aleatório. Por outro lado, os autores mostram que este tipo de política de armazenamento pode provocar congestionamento nos corredores onde se encontra os produtos mais populares, uma vez que este tipo de armazenamento está sujeito a movimentos periódicos da demanda de produtos.

Segundo Gu *et al* (2007) a implementação da política de armazenamento baseada em classe proporciona um alto impacto sobre o espaço de armazenamento necessário e nos custos de manuseio de materiais dentro dos armazéns da cadeia de suprimentos.

Petersen *et al* (2005) afirmam que antes de uma alocação de produtos ser executada no armazém, é necessário que o depósito seja alinhado. Para isso, as informações dos perfis das unidades de manutenção de estoques (SKUs) são necessárias para a devida alocação. Nesse sentido, o autor coloca que duas questões são determinantes na resposta de onde guardar os produtos: (1) como ordenar ou classificar as SKUs e (2) como atribuir SKUs ranqueadas para locais de armazenamento.

Para a execução de uma classificação de SKUs é necessário definir as medidas de alocação e, por sua vez, as estratégias de atribuição de armazenamento são utilizadas para estabelecer cada SKU nos seus respectivos e adequados locais de armazenamento (Petersen *et al*, 2005).

Segundo (Frazelle, 2002; Petersen *et al*, 2005) várias medidas de alocação estão disponíveis para os gestores do armazém utilizarem, dentre elas pode-se inserir: popularidade, volume de negócios, volume, *pick density* e o COI.

3.3.1.1.1 Índice cúbico por pedido (COI)

Para (Caron *et al*, 1998; Ballou, 2006; Chen *et al*, 2008; Dukic, 2010; Fontana, 2010) o índice cúbico por pedido/ COI é definido como a relação da capacidade média de espaço

requerida pelo produto para estocagem e o número médio de pedidos/ taxa de volume de negócios em um determinado período de tempo. Por isso, ele tem sido muito adotado para atribuir classes de produtos aos locais de armazenamento.

Gu *et al* (2007) destacam que o COI permite o ranqueamento das classes de produtos por meio do seu valor e as classes com menor valor são direcionadas para os locais mais desejáveis do armazém. Segundo (Brynzer *et al*, 1996; Garfinkel, 2005) a alocação dos SKUs com menor valor do COI são feitas nos locais mais próximos da entrada ou saída do armazém, visto que são locais que possuem o menor tempo de viagem.

Lee (1992) *apud* Berg (1999a) afirma que ele serve para agrupar os produtos em *clusters*, bem como em sequência. Fontana (2010) afirma que o COI é o principal índice para a determinação de agregações em classes e ordenação dos produtos armazenados. Ballou (2006) afirma que o COI procura ocupar o espaço do armazém de maneira a que o maior volume de estoque necessite de um mínimo de movimentação dentro do armazém.

Caron *et al* (1998) descrevem que a adoção de políticas de armazenamento baseadas no COI é mais intensiva em informações do que o armazenamento aleatório. Isso é possível porque os dados dos pedidos e do armazenamento são processados para classificar e atribuir itens por decréscimo do COI. O autor também destaca que em um ambiente dinâmico o armazenamento baseado no COI requer alocações de itens a ser constantemente revisados.

Para Fontana (2010) o COI não inclui o número de clientes que adquirem cada produto e, conseqüentemente, as organizações podem dar preferência a produtos que não tem um bom retorno de capital, ou então prestar níveis de serviços elevados a poucos clientes enquanto está deixando de oferecer a outros clientes mais importantes. Dado isso, a mesma formulou dois novos índices incluindo esta variável, a saber: o CIC, que considera o espaço requerido dividido pelo número de clientes, e COIC que é o resultado da relação entre o espaço requerido dividido pela multiplicação da demanda com o número de clientes.

3.3.1.1.2 Curva ABC

Moura (1997) e Trigueiro (2001) definem a curva ABC como um método em que ordena itens considerando a importância em relação ao estoque, dividindo geralmente em classes A, B e C. Os mesmos argumentam que este método pode ser aplicado em diversas situações, geralmente referindo-se a regra 80/20, baseada na Lei de Pareto.

A curva de classificação ABC é considerada adequada para agrupamento de produtos em classes. Isto pode ser ilustrado adotando-se o critério demanda anual de valor, conforme

visto na Figura 3.1. Assim, percebe-se que a classe A seria composta 20% dos itens compreendendo a 80% da demanda anual em valor, a classe do meio teria 30% dos itens com uma representação de 15% da demanda anual em valor e a classe C seria os 50% de itens restantes com 5% da demanda anual de valor (Garcia *et al*, 2006).

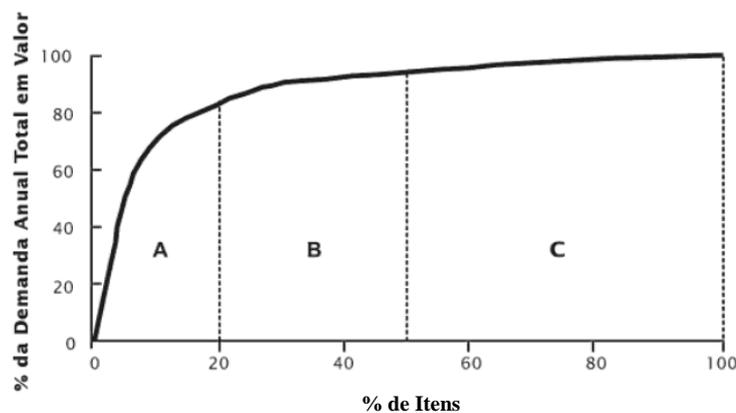


Figura 3.1 - Classificação ABC com base na Demanda Anual em Valor

Fonte: Garcia *et al* (2006)

De acordo com Moura (1997) a metodologia ABC pode ser usada para qualquer caso de classificação de itens, sob quaisquer naturezas e critérios (investimento, vendas, outros). Garcia *et al* (2006) aponta outros critérios pelos quais se pode agrupar os produtos, tais como: valor em estoque, giro, consumo de recursos, criticidade para as operações.

Salienta-se que a classificação ABC também permite definir clientes e fornecedores, de modo que aqueles poderiam ser classificados por meio das receitas geradas, podendo ser priorizados em tempo de entrega e disponibilidade de produtos, e os fornecedores mais significativos poderiam ser priorizados em programas de parceria e integração da cadeia de suprimentos (Garcia *et al*, 2006).

Para Szajubok *et al* (2006) a curva ABC é utilizada para o gerenciamento com maior atenção dos itens que são determinados como prioritários. O autor aponta que existem algumas dificuldades associadas à análise ABC, que são: como escolher um apropriado critério, qual a quantidade de categorias mais adequada, como classificar os itens nas classes. Outro ponto a ser ressaltado é que a análise ABC não mede a importância do item em relação ao sistema global de uma organização.

Segundo Ballou (2009) a metodologia ABC permite determinar as classes e quais produtos da lista são designados, o que possibilita estabelecer níveis de serviços diferenciados

para as diversas classes, bem como utilizar métodos de controle de estoque diferentes e, sendo assim, diminuir o esforço de gestão e, conseqüentemente, os custos.

Observa-se que muitas vezes esta metodologia é utilizada com outra finalidade. Diversos artigos propõem a divisão dos armazéns em espaços dedicados a diferentes classes. Tais espaços são divididos com base na metodologia ABC.

Percebe-se, então, que a abordagem ABC trata simultaneamente os problemas de classificação e localização dos produtos no armazém, uma vez que os itens mais bem classificados serão armazenados perto do ponto I/O (entrada e saída do armazém) e os maus classificados serão direcionados para locais mais distantes do ponto I/O.

3.4 Modelos de localização com uso multicritério

Ferreira (2009) ao desenvolver um modelo para localização de transformadores de reservas técnicas em subestações de uma concessionária de energia elétrica, afirma que problemas de localização de facilidades de serviço permitem a incorporação de elementos subjetivos na formulação do modelo. O autor adota uma metodologia multicritério de apoio a decisão utilizando o método da utilidade multiatributo (MAUT) para a obtenção de soluções eficientes. O resultado alcançado foi que o uso deste modelo permite um aproveitamento mais racional dos recursos de reserva técnica disponíveis.

Tavakkoli-Moghaddam *et al* (2010) mostram que a seleção de local constitui um problema de decisão multicritério em que está inserido métricas qualitativas e quantitativas. Para o autor a programação matemática não considera critérios qualitativos e, por isso, os tomadores de decisão não contribuem na tomada de decisão. Então, o autor propõe um novo modelo de seleção de local em que em uma fase inicial utiliza um método *fuzzy* para ter os critérios qualitativos e quantitativos, e em uma segunda fase aplica o desdobramento da função qualidade (QFD) para selecionar o melhor local para estabelecer uma fábrica. O QFD é uma ferramenta que considera a relação entre os critérios de produto e localização.

Chuang (2002) constrói um modelo de distribuição local, por meio das perspectivas dos clientes de uma empresa, fornecedores e funcionários, por meio da aplicação do QFD. O intuito é auxiliar na decisão de uma localização de uma empresa de distribuição local que satisfaça os requisitos de localização global. Os critérios de avaliação do local foram derivados dos requisitos de localização e uma matriz de relacionamento foi criada para mostrar o grau de relação entre cada par de exigências de localização. Uma pesquisa de

amostragem foi realizada para calcular a ponderação da importância para cada categoria de requisito de localização.

Para Awasthi *et al* (2011) a seleção de localização de uma empresa de distribuição é um problema de decisão multiobjectivo, devendo ser considerado fatores quantitativos e qualitativos. O autor utiliza o QFD para construir um modelo de distribuição de localização do ponto de vista dos clientes da empresa e sugere que futuras pesquisas podem utilizar a teoria *fuzzy*, uma vez que ela considera imprecisão das informações, a semântica dos requisitos de localização e o grau de relacionamento na matriz. É sugerido ainda o uso do processo de hierarquia analítica (AHP) para diferenciar a importância de cada requisito de localização em combinação com a abordagem QFD.

Badri (1999) aponta que as decisões de local-distribuição de facilidades globais estratégicas envolvem muitos fatores de natureza conflituosa, gerando um problema de seleção difícil. Ele propõe o uso do Processo Hierárquico Analítico e metodologia de meta-programação de multi-objetivo como ajuda para tomada de decisões de local-distribuição. O objetivo da metodologia apresentada é facilitar o planejamento das autoridades na formulação de estratégias de locais viáveis no ambiente de decisão global volátil e complexo.

Ozcan *et al* (2011) advogam que para a solução de decisão de problemas com uso de múltiplos critérios, a literatura apresenta muitas metodologias, dentre as quais estão, AHP, TOPSIS, ELECTRE e Teoria Cinzenta. O autor faz um estudo destas metodologias mostrando suas vantagens e desvantagens. Posteriormente, ele aplica essas metodologias no problema de seleção de armazém, que é um dos tópicos principais da administração de logística. O estudo de caso é feito em um setor de varejo, que mantém alta incerteza e variedade de produto e, assim, a escolha do melhor local de armazém entre muitas alternativas é apresentada.

3.5 Modelos de alocação de produtos em armazéns

O problema de localização, segundo Ferreira (2009), é descrito na literatura de pesquisa operacional como uma possibilidade para vincular os métodos científicos a situações reais encontradas nos sistemas de produção de bens e serviços.

Petersen *et al* (2005) mostram em sua pesquisa a avaliação das medidas de alocação e as estratégias de atribuição de armazenamento em termos de distância da viagem e tempo de atendimento, de modo que os resultados evidenciam um melhor desempenho econômico quando se utiliza as seguintes medidas de alocação: popularidade, volume de negócios e COI.

Petersen *et al* (2005) expõe que, diante de uma considerável preocupação com a alocação e as técnicas adequadas de armazenamento, a popularidade, o volume de negócios e o COI, mostram o melhor desempenho dentre as medidas de alocação. Em sua pesquisa através da simulação ele mostra que utilizando o conceito de “*Golden zone*” (alocação de altas demandas de unidades de manutenção de estoque na altura entre a cintura e o ombro do selecionador) geram significativas economias no tempo de atendimento de pedidos em comparação com as políticas de armazenamento que ignoram o conceito de “*Golden Zone*”.

Chan & Chan (2011) realizaram um trabalho que objetiva apresentar um estudo de simulação de um caso real em um armazém de distribuição através da implementação de armazenamento baseado em classe no que diz respeito aos problemas de atribuição de armazenamento em um *pick* manual em um armazém de múltiplos níveis de *rack*, de modo que o desempenho do processo é medido em termos de distância percorrida e tempo de recuperação do pedido.

Guvénir & Erel (1998) propuseram a classificação do inventário em classes com vários critérios. Eles compararam a análise ABC tradicional com a *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e Algoritmo Genérico (GA) para eficácia em classificar estoques. O resultado da avaliação dos autores foi que a análise ABC só coloca o valor de uso anual (um critério) e descobriu que AHP é muito subjetivo, bem como observou que o GA classifica o inventário de forma mais consistente ao desejo do decisor.

Partovi & Anandarajan (2002) também propuseram a formular um modelo de classificação ABC do inventário com vários critérios (preço unitário, o custo de pedido, faixa de demanda e lead-time). Utilizaram Redes Neurais Artificiais (RNA) para classificar o inventário de uma empresa farmacêutica. O uso do modelo RNA pode ser uma ferramenta de análise para decidir se o SKU deve ser classificado como o item da categoria A, B ou C. Encontraram-se dificuldades na formulação do modelo, a saber, o fato de o número de variáveis de entrada ser limitados e também da dificuldade na análise de critérios qualitativos.

Heragu *et al* (2005) *apud* Chan *et al* (2011) propuseram um modelo matemático e um algoritmo heurístico que juntos determinam a alocação dos produtos para as áreas funcionais no armazém, bem como o tamanho de cada área. Três classes funcionais foram definidas: área reservada, área de frente e área de *cross-docking*. O resultado foi que a partir do fluxo físico de produtos o tamanho ótimo de cada classe funcional é determinado e os custos da colheita são reduzidos.

Uma pesquisa de Hausman *et al* (1976) sobre as estratégias de atribuição de armazenamento ocorreu principalmente na área de armazenamento automatizado / sistemas de recuperação de armazenamento utilizando armazenamento baseado em classes, em que se divide SKUs em classes de armazenamento com base em uma medida de alocação e depois aleatoriamente localiza as referências dentro de sua classe de armazenamento.

Graves *et al* (1977) avaliam o impacto do sequenciamento e da política de armazenamento de classe com base no desempenho do armazém, por meio de expressões analíticas para *racks* contínua e procedimentos numéricos para sistemas discretos.

Brynzer *et al* (1996) estudam o problema de atribuição de locais para armazenamento (SLAP) usando a estrutura do produto para reduzir o tempo de *order picking*, que resulta em uma manipulação de material mais eficiente através da reorganização dos componentes do sistema de armazenamento, com a finalidade de apoiar o trabalho do formador de pedido.

Para Trigueiro (2001) diversos critérios podem ser considerados para a armazenagem de um determinado material. O autor ressalta que a popularidade, a similaridade e o tamanho dos produtos são considerados características importantes para a alocação em determinadas localidades do armazém.

O problema de localização de produtos no armazém é difundido na literatura por meio de estudos direcionados sobre as políticas de atribuição para produtos em armazéns. Para a localização de produtos em seus respectivos lugares, tem-se a existência de um conjunto de produtos a serem atribuídos numa determinada região com localidades disponíveis e com certo número de locais já ocupados.

Para simplificação da análise do problema em estudo, será admitido um armazém em que o seu gestor terá a possibilidade de alocar os seus produtos em locais que já estejam vazios. Deseja-se localizar os produtos dentro do armazém, atendendo critérios definidos e maximizando o benefício total. Estes produtos estão inseridos num contexto de mercado em que são demandados pelos consumidores. Essas demandas devem ser localizadas em lugares que permitam uma maior eficiência do armazém.

A correta alocação dos produtos ao longo do armazém contribui para que não haja interrupção no sistema e, assim, os produtos podem ser utilizados em tempo acessível pelos seus respectivos clientes e também isto acarreta em uma minimização de custos para a empresa.

A decisão para determinar a localização de produtos propriamente dita envolve uma série de fatores e aspectos particulares do armazém, bem como os objetivos que se quer atingir, que são preservados por um agente decisor. Sendo assim, é necessária uma investigação sistemática a fim de que todos esses elementos que compõem o problema de decisão sejam apropriadamente levantados e elucidados.

A estruturação do problema possibilitará trazer a luz aspectos aparentemente obscuros no processo de atribuição de produtos para locais de armazenamento, visto que o propósito é estabelecer um modelo de decisão que permita oferecer um tratamento sistemático do desenvolvimento estrutural do problema em questão.

A proposição de solução para o modelo será conduzida por meio do método multicritério Smarter. Este método já foi utilizado em vários estudos com diferentes contextos na literatura multicritério de apoio a decisão. A seguir segue algumas aplicações do método.

3.6 Modelos com aplicações do método Smarter

Lopes e Almeida (2008) tratam da decisão de localização de instalações como um fator crítico para o comportamento da organização dentro da cadeia de suprimentos. Propõem estruturar metodologicamente a tomada de decisão multicritério quanto a localização de unidades de serviço, de modo que utilizando o método Smarter descrevem uma aplicação numérica para a resolução da questão. Foram utilizados os critérios: tamanho da população, distância média, custo, infraestrutura do varejo e acessibilidade. O resultado alcançado é uma ordenação das melhores alternativas, na qual é escolhida aquela que tem o maior valor global.

Schramm (2008) propõe um modelo multicritério de apoio a decisão com a finalidade de tornar mais eficaz o processo de seleção de fornecedores na cadeia de suprimentos da construção civil e um procedimento para acompanhamento ou avaliação do fornecedor selecionado. O método Smarter foi aplicado em uma situação real de uma empresa do setor e os critérios analisados foram: SGQ, preço unitário, plano de redução dos custos, custo do frete, rejeição na empresa, atendimento, *lead time*, flexibilidade de prazo e quantidade.

O modelo de Schramm (2008) deixa claro para os fornecedores e empresa quais os indicadores de desempenho importantes para mensuração e avaliação da performance dos agentes e que construtoras de grande porte ainda fazem suas seleções de fornecedores por meio apenas de critérios preço e qualidade. Foi possível definir que o problema é de natureza multiatributo e que mesmo apresentando algumas limitações (valores unidimensionais são

lineares e compensação entre os critérios), o método Smarter pode ser utilizado de maneira satisfatória por permitir a empresa reduzir o risco inerente ao processo de tomada de decisão.

Cavalcanti (2007) propõe usar o Sistema de Apoio a Decisão (SAD), baseado no método multicritério Smarts, com a finalidade de minimizar o problema de escolha do imóvel no mercado de Pernambuco. A pesquisa foi realizada por meio de um estudo de caso, utilizando o Sistema de Apoio a Compra de Imóveis (SACI), disponibilizado na internet. Esse software era flexível às mudanças do mercado imobiliário e possibilitou ao internauta usuário uma interface gráfica simples, em que era possível a eles indicarem os atributos que se leva em consideração na hora da compra.

Brougham & Walsh (2005) propuseram explorar a contribuição de objetivos pessoais em decisões de aposentadoria utilizando o método multicritério Smarter. Na pesquisa foram entrevistados 251 funcionários de uma universidade, com idade entre 55-77, os quais apontaram a importância relativa de 29 atributos e seu respectivo valor. Os resultados mostram uma contribuição para a previsão de intenções de aposentadoria, que tem implicações para uma pré-reforma educacional e aplicação em local de trabalho.

No próximo capítulo serão apresentados os elementos estruturais do modelo multicritério proposto, com a especificação de todos os componentes de cada fase, que servirão de suporte para a aplicação numérica do problema de ordenação e atribuição de produtos para locais de armazenamento.

4 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO

Neste capítulo será exposta uma descrição do processo de modelagem para a ordenação e atribuição multicritério de produtos em um armazém.

4.1 Modelos atuais para atribuição de produtos em armazéns

Na literatura são descobertas diversas políticas para um melhor arranjo dos produtos dentro do armazém, sendo utilizadas na sua estruturação as próprias características dos produtos. Faz-se uso de distintos métodos de organização de produtos na literatura. O fato é que esses procedimentos não consideram a inserção de múltiplas características dentro de sua metodologia proposta na promoção de um resultado final que considere a utilização de múltiplos critérios. Esses métodos consideram critérios de maneira isolada na sua estruturação e, portanto, são metodologias monocritério.

As pesquisas que tratam diretamente da atribuição de produtos para locais de armazenamento, isto é, alocação de produtos para locais que possibilitem uma maior organização e, por sua vez, eficiência do armazém, por meio da abordagem multicritério, ainda são muito escassas na literatura.

As pesquisas que têm sido feitas dentro do contexto do armazém são relevantes. Notória importância que se tem dado é a separação de pedidos e, mais especificamente, tem-se focado no desenvolvimento de modelos de tempo de viagem ou de modelos de distância da viagem para atribuições de armazenamento, de modo a ressaltar a relevância do roteamento das ordens e lotes (Pan & Wu, 2009).

Diante do exposto, o estudo em questão procurará desenvolver um modelo que considere diferentes e conflituosos critérios dos produtos na atribuição dos mesmos para os locais de armazenamento. A seguir são estabelecidos os principais elementos pertencentes ao modelo proposto.

4.2 Modelo Proposto para atribuição de produtos

Nesta seção será apresentado o modelo multicritério de apoio a decisão voltado para a atribuição de produtos em armazéns, que fará uso do método multicritério Smarter.

Com base na Figura 4.1 o modelo multicritério proposto se divide em três fases: identificação e estruturação, aplicação, escolha e atribuição. Na primeira fase é possível

definir o problema, os objetivos, as alternativas, os critérios e o agente de decisão, correspondendo as três primeiras etapas do método Smarter. A segunda fase permite a aplicação numérica com as alternativas que não foram dominadas, utilizando da quarta até a nona etapa do método Smarter. A última fase do modelo faz uso ainda da nona etapa do método Smarter, na qual se dará o processo de escolha e atribuição dos produtos.

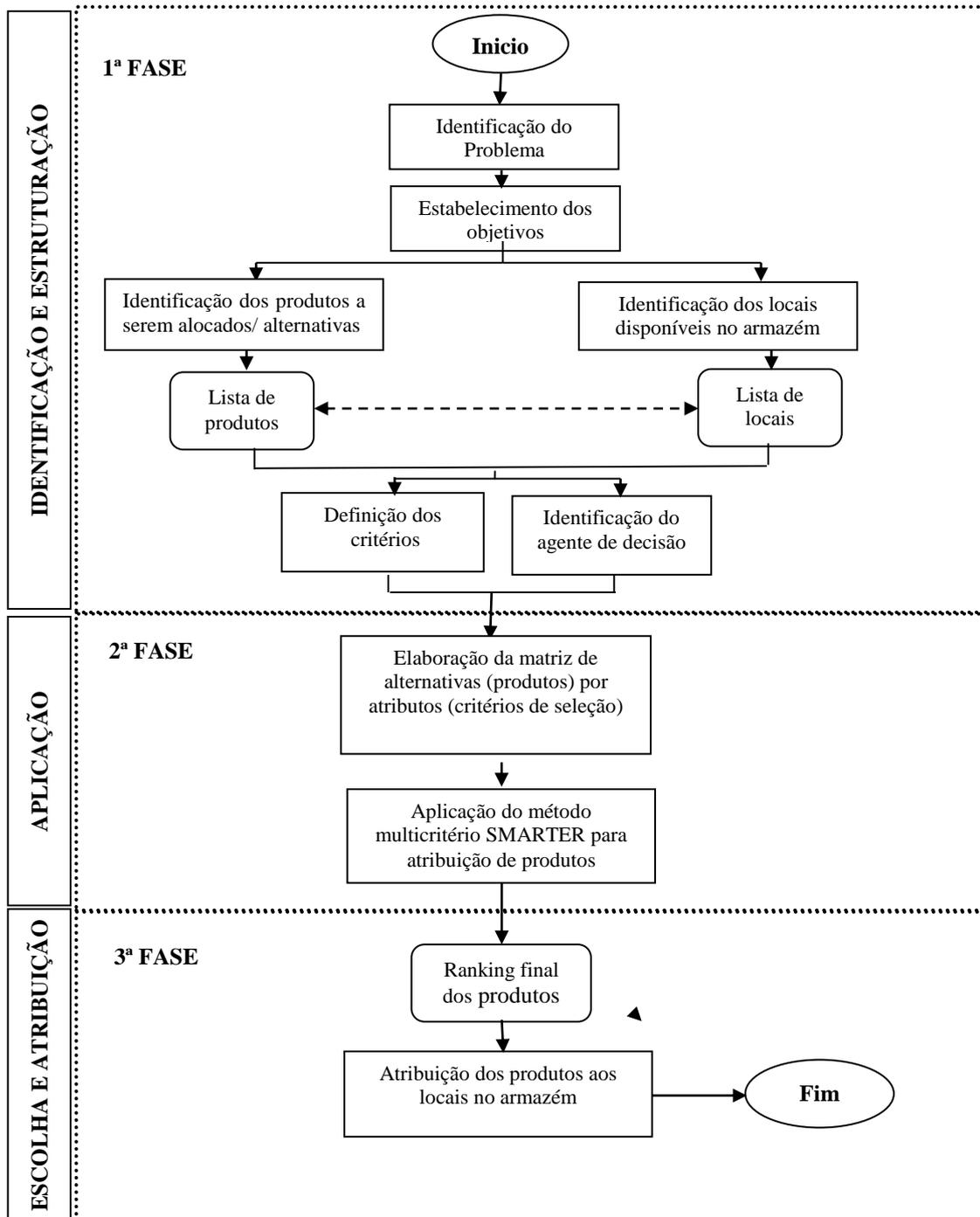


Figura 4.1- Fases do modelo multicritério proposto

Fonte: o autor

A escolha do método Smarter se deu devido à possibilidade de simplificação do processo de determinação das constantes de escalas e do estabelecimento das escalas de valores, bem como pelo problema ser de natureza compensatória. Isso permite um tratamento simplificado das hipóteses no processo de análise, visto que o método torna mais simples o processo de elicitação das importâncias relativas dos critérios para o decisor e analista.

4.3 Estruturando os Elementos do Modelo Proposto

A princípio torna-se necessário explicitar o propósito do modelo, que é apoiar o decisor na ordenação de produtos e, consecutivamente, a atribuição destes nos locais de armazenamento, tendo como agente de decisão responsável o gerente do armazém. A finalidade é tornar a organização do armazém mais eficiente e, assim, contribuir para o crescimento competitivo da organização.

4.3.1 Determinação do conjunto de alternativas

O conjunto de alternativas delineadas para utilização no modelo pode ser representado da seguinte forma: $A = (P_1, P_2, P_3, \dots, P_n)$. Este conjunto corresponde a reunião de todos os produtos distintos por suas características dentro do armazém. Quando somados resultam na extensão de todos os produtos que uma organização empresarial necessita estocar de forma eficiente dentro do seu respectivo depósito, para os quais se deseja formar uma apropriada categoria de produtos com a finalidade de facilitar o controle e a organização. Para isto, observam-se os múltiplos critérios e as preferências do decisor.

4.3.2 Design do armazém em localidades

Este trabalho busca traçar uma ordenação e atribuição de produtos no armazém a partir de múltiplos critérios, com a finalidade de estabelecer uma política de organização eficiente de produtos no armazém.

Foi estabelecido para simplificação do modelo um armazém hipotético cujo layout foi dividido em várias categorias para respectivas alocações dos produtos, esses serão designados a partir dos resultados obtidos no modelo. Os produtos serão distribuídos para as suas respectivas localidades de acordo com a sua criticidade para a empresa gestora do armazém.

Na Figura 4.2 pode-se observar um suposto armazém com ênfase na dimensão horizontal e dividido em localidades indicados pelas setas, sendo que as setas apenas

constituem-se em uma forma de direcionamento das localidades, não cabendo quaisquer interpretações de sequenciamento de localidades.

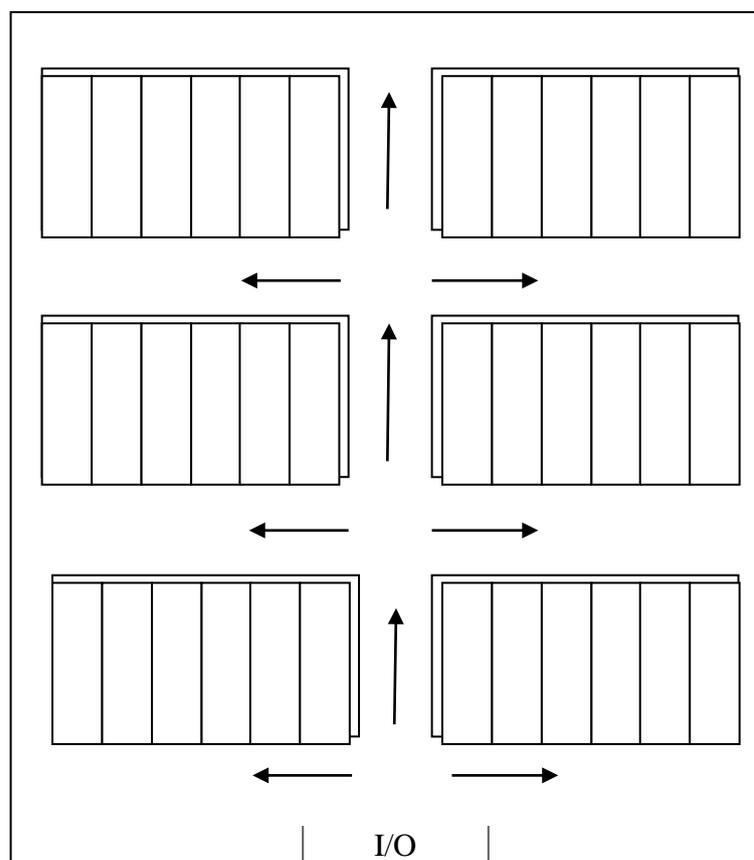


Figura 4.2- Layout de armazém

Fonte: o autor

A divisão do layout do armazém hipotético foi feita desta forma porque no modelo será considerado os deslocamentos na vertical em direção aos locais de atribuição de produtos. O motivo é que deslocamentos na horizontal não são recomendados devido ao fato de que o percurso até o local do produto poderá ser distante. Assim, as localidades ficam divididas segundo a distância vertical do ponto I/O. A consideração dos deslocamentos na vertical mostra que a melhor alocação dos produtos é baseada nas distâncias ao centro do corredor I/O.

4.3.3 Estabelecendo os objetivos do Modelo

O processo de obtenção de objetivos, atributos e uma função objetivo, são de fundamental importância na tomada de decisões. Esse processo é dividido em dois: (1)

identificação e estruturação de objetivos, que é de natureza qualitativa; e (2) modelo de valor, isto é, especificação dos atributos e determinação da função objetivo, que é de natureza quantitativa (Keeney, 1992).

Foram identificados alguns objetivos no desenvolvimento da estrutura do problema. O primeiro objetivo é a minimização dos custos, que tanto pode ser custos de espaço quanto custos de *order picking* entre as localidades dos produtos até o ponto de I/O. O segundo objetivo se refere a minimização do congestionamento dentro dos corredores, possibilitando a disponibilidade de acesso as localidades. Este último objetivo é de fundamental importância, uma vez que a restrição de acesso as localidades podem afetar o prazo de entrega dos produtos ao cliente, prejudicando tanto a empresa quanto os clientes.

A seguir são estabelecidos os critérios e justificadas as razões pelas quais foram escolhidos para serem inseridos na formulação do modelo de valor.

4.3.4 Especificação dos critérios/atributos

No modelo multicritério proposto para ordenação e atribuição de produtos nas localidades dentro do armazém, serão adotados os seguintes critérios:

1. População: é uma variável quantitativa, que expressa o número médio de consumidores atendidos para cada produto em um período mensal. O prazo de entrega do produto para os consumidores também depende da forma como aqueles estão organizados dentro do armazém. A esse critério está associado o atendimento do objetivo da minimização de custos de *order picking* e a maximização da acessibilidade, caso eles estejam localizados o mais próximos do ponto de I/O. O maior entendimento deste critério e a sua importância podem ser descritos por meio do seguinte exemplo: suponhamos que um armazém possua um volume de negócios (demanda) de 500 unidades de produtos com uma população (nº médio de clientes) de 25 clientes para um determinado produto 'X' e que um produto 'Y' tenha um volume de negócios de 20000 unidades para apenas um único cliente; então, observa-se que enquanto poucos produtos 'X' são demandados por vários clientes, uma quantidade grande de produtos 'Y' são demandadas por apenas um cliente.
2. Volume de negócios: variável quantitativa, que corresponde ao montante de produtos expedidos mensalmente, em unidades. É a demanda de produtos

extraídos das suas localidades até o ponto de I/O, ou seja, é a quantidade de SKUs expedidos. Este critério atende diretamente aos objetivos custos de *order picking* e acessibilidade, sendo os produtos localizados o mais próximo possível do ponto de I/O.

3. Volume (comprimento, largura, altura)/ Espaço: é uma variável quantitativa, referindo-se ao tamanho do produto, dado em metro cúbico (m³). Ressalta-se que o volume do próprio produto reflete o espaço que será necessário para a sua alocação. Dessa forma, este critério está ligado diretamente ao custo de espaço.

4.3.5 Identificação do agente de decisão

Para a elaboração do modelo tem-se que inicialmente definir quem é o decisor ou agente de decisão. Segundo Almeida (2011) o decisor é o responsável pela tomada de decisão, possuindo todo o poder sobre a decisão para um determinado problema.

No estudo do problema em questão, em que o modelo será utilizado como ferramenta para o gerenciamento de produtos dentro do armazém, o decisor será o gerente do armazém, ente responsável por administrar as atividades existentes dentro do armazém.

Para Trigueiro (2001) o administrador/gerente de estoque deve estar consciente dos seguintes aspectos: o controle dos estoques é facilitado pela arrumação do estoque e a armazenagem ordenada reduz o custo da mão-de-obra, facilita o manejo dos estoques e a identificação física do material.

A importância do decisor neste processo se dá porque é por meio dele que se fará o processo de elicitação dos parâmetros do modelo para a construção da estrutura do problema. Todavia, no estudo em questão foi considerado o procedimento de obtenção de pesos ROC, pelo qual se pode transformar a informação de ordem dos critérios (parte 1 da etapa 7 do método Smarter) em pesos, sem que necessite de uma avaliação adicional com o decisor.

No próximo capítulo serão apresentados os resultados de uma aplicação numérica para a análise dos aspectos levantados na modelagem do problema de ordenação e atribuição de produtos para locais de armazenamento.

5 APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Neste capítulo será realizada uma aplicação numérica através da técnica da simulação, com a finalidade de ilustrar o modelo proposto de avaliação multicritério de ordenação e atribuição de produtos as suas respectivas localidades. Para isso, os cálculos foram realizados por meio de dados fictícios, de modo que serão gerados resultados virtuais que possibilitem a tomada de decisão em casos reais.

De forma sucinta, o problema consiste em definir uma localização para o produto a partir da ordenação dos mesmos. Essa localização corresponderá a um ponto estratégico, dentre as várias localidades acessíveis, com o intuito de minimizar o prejuízo global no armazém, adotando-se os vários critérios especificados.

O objetivo é o de buscar minimizar os custos inerentes ao sistema de armazenagem e também minimizar a duração da interrupção do serviço de *order picking* decorrente dos congestionamentos causados por posicionamentos inadequados dos produtos.

Diante do exposto, a atribuição dos produtos é realizada de maneira a possibilitar a escolha adequada do subconjunto de alternativas mais eficientes, considerando todas aquelas que são viáveis. Para isso, será avaliado cada critério, conforme a estrutura de preferência do decisor a ser elicitada através de uma função valor. Conquanto, no modelo apresentado será adotada uma função de agregação dos critérios para tornar possível uma avaliação global das alternativas.

5.1 Utilização do Modelo

O propósito do modelo de apoio à decisão é o de permitir melhorias no processo de ordenação e atribuição de produtos para localidades dentro do armazém em uma perspectiva multicritério, sendo o responsável por tomar tal decisão o gerente do armazém.

O desenvolvimento de um procedimento lógico e estruturado fará com que haja uma maior organização dos produtos dentro do armazém. Isto permitirá o estabelecimento de políticas estratégicas que orientam os gestores no processo de organização do armazém, possibilitando um aumento da competitividade da organização frente aos seus concorrentes através de um atendimento mais eficiente aos seus consumidores.

O modelo proposto, conforme observado na Figura 4.1, está dividido em três fases com a finalidade de possibilitar uma melhor compreensão dos aspectos envolvidos. Na fase 1 estão

a identificação e estruturação do problema, na fase 2 está a aplicação numérica utilizando o método Smarter e a fase 3 corresponde ao processo de escolha e atribuição. A seguir essas fases são expostas no contexto de um armazém hipotético através de uma aplicação numérica.

5.2 Fase 1 - Identificação e Estruturação do Problema

A identificação e estruturação foram devidamente esclarecidas no capítulo 4 deste trabalho, no qual foi possível observar a definição do problema do modelo que é a ordenação de um mix de produtos e a atribuição destes em localidades dentro do armazém a partir de uma perspectiva de múltiplos critérios.

Estabeleceram-se também os objetivos, seguindo a exposição de uma lista de produtos e de possíveis locais disponíveis para serem alocados os produtos dentro do hipotético layout de armazém, os critérios mais relevantes e determinou-se o agente de decisão que, no estudo em questão, é o gerente do armazém.

Todos esses aspectos supracitados foram sendo expostos obedecendo metodologicamente a sequência das três primeiras etapas pertinentes ao método multicritério de apoio a decisão Smarter, conforme os passos estão colocados na fundamentação teórica deste trabalho, na seção 2.4.3.1. Segue-se na próxima seção o passo da construção da matriz de avaliação a partir das informações obtidas até o momento.

5.3 Fase 2 – Aplicação Numérica

A aplicação a seguir não é um caso real específico, todavia faz uso de dados realísticos. Nesta aplicação será utilizado o método Smarter, cuja sequência de passos permite que o modelo seja adaptado conforme as particularidades do problema, como por exemplo, a inclusão ou exclusão de critérios e alternativas.

Dar-se início, então, a etapa 4 do método Smarter. Definidos os critérios e as alternativas, formula-se uma representação da matriz de avaliação com as alternativas (produtos) por critérios direcionados a cada um dos produtos, como pode ser visualizado na Tabela 5.1, para o modelo proposto. As entradas dessas matrizes podem ser medidas físicas das alternativas já disponíveis ou as entradas podem ser julgadas por meio do valor unidimensional para o caso em que há indisponibilidade dos valores.

Tabela 5.1 – Representação da Matriz das alternativas por critérios

Alternativas (P_h)	Critérios				
	C_1	C_2	C_3	...	C_k
P_1	x_{11}	x_{12}	x_{13}	...	x_{1k}
P_2	x_{21}	x_{22}	x_{23}	...	x_{2k}
P_3	x_{31}	x_{32}	x_{33}	...	x_{3k}
P_4	x_{41}	x_{42}	x_{43}	...	x_{4k}
...
P_h	x_{h1}	x_{h2}	x_{h3}	...	x_{hk}

Fonte: o autor (2011)

Para cada alternativa em todos os critérios de avaliação, torna-se necessário adotar valores físicos. Portanto, em todas as funções de valor serão incluídas os valores correspondentes a cada alternativa por atributo. As respectivas pontuações são formalizadas em conjunto com o decisor para a elaboração das matrizes alternativas por critério, conforme Tabela 5.2 e Tabela 5.4.

Tabela 5.2- Matriz das alternativas por critérios

Alternativas	Critérios		
	População (q^a)	V. de Negócios (q^a)	Volume (unid/m ³)
P1	200	300	0,7
P2	301	4500	1,7
P3	150	30	1,2
P4	80	287	2,2
P5	50	100	1,7
P6	400	200	0,9
P7	330	495	2,3
P8	110	160	1,5
P9	90	80	0,2
P10	237	355	1,9
P11	500	496	1,1
P12	62	675	0,7
P13	62	645	0,7
P14	312	111	1,7
P15	435	2000	0,7

Fonte: o autor (2011)

Tabela 5.3 - Matriz das alternativas por critérios (continuação)

Alternativas	Critérios		
	População (q ^a)	V. de Negócios (q ^a)	Volume (unid/m ³)
P16	123	3212	2,2
P17	234	4231	2,1
P18	321	123	0,6
P19	32	534	1,7
P20	123	654	1,5
P21	347	5677	1,6
P22	128	2345	0,4
P23	129	1234	0,7
P24	120	3456	2,2
P25	122	23	2,4
P26	211	2789	2,5
P27	32	12	2,3
P28	341	23	1,2
P29	177	76	1,2
P30	176	3278	1

Fonte: o autor (2011)

O passo seguinte é o da etapa 5 do método Smarter que propõe a eliminação de todas as alternativas dominadas do problema em questão. Obtêm-se através deste processo um conjunto de alternativas não dominadas, conforme Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Matriz das alternativas não dominadas

Alternativas	Critérios		
	População (q ^a)	V. de Negócios (q ^a)	Volume (unid/m ³)
P2	301	4500	1,7
P7	330	495	2,3
P11	500	496	1,1
P15	435	2000	0,7
P16	123	3212	2,2
P17	234	4231	2,1
P21	347	5677	1,6
P24	120	3456	2,2
P26	211	2789	2,5

Fonte: o autor (2011)

Chega-se ao passo 6, pelo qual são feitas a conversão de valores para uma mesma escala de avaliação, caso haja atributos que se apresentem de forma subjetiva, assumindo que a função valor para cada critério é linear. O resultado pode ser observado na Tabela 5.5, cujos valores das funções unidimensionais das alternativas por critério já estão apresentados de forma normalizada. A normalização foi realizada através do procedimento 2, conforme Almeida (2011), em que: $v'_j(a_i) = [v_j(a_i) - \text{Min } v_j(a_i)] / [\text{Max } v_j(a_i) - \text{Min } v_j(a_i)]$.

Tabela 5.5 – Matriz normalizada com alternativas não dominadas por critérios

Alternativas	Critérios		
	População (q ^a)	V. de Negócios (q ^a)	Volume (unid/m ³)
P2	0,48	0,77	0,56
P7	0,55	0,00	0,89
P11	1,00	0,00	0,22
P15	0,83	0,29	0,00
P16	0,01	0,52	0,83
P17	0,30	0,72	0,78
P21	0,60	1,00	0,50
P24	0,00	0,57	0,83
P26	0,24	0,44	1,00

Fonte: o autor (2011)

Após o estabelecimento das matrizes, seguiu-se o processo de elicitação ou determinação da importância relativa dos critérios juntamente com o tomador de decisão. Admitiram-se para a elicitação as seguintes perguntas feitas ao decisor: “Suponha a escolha de uma alternativa, para melhorar o desempenho desta alternativa em apenas um dos critérios para um valor máximo, qual critério seria escolhido?. Segue-se os questionamentos: “Para melhorar o desempenho ainda da mesma alternativa em apenas um dos critérios, exceto para o critério escolhido anteriormente, qual critério será adotado?”.

Esse processo é denominado de a parte 1 do swing da etapa 7 do Smarter e é utilizado até que todos os critérios tenham sido avaliados. O primeiro critério escolhido terá o maior valor dos pesos, ou seja, constantes de escala, e, por conseguinte, o próximo critério terá o segundo maior valor de constante de escala e, assim, sucessivamente.

Todos os critérios foram avaliados e com base na informação do decisor estabeleceram-se as sequências da importância relativa dos critérios. Na Tabela 5.6 estão expostos os posicionamentos dos critérios segundo a ordem de importância e seus respectivos pesos.

Tabela 5.6- Importância relativa dos critérios e pesos

Atributos	Ordem de Importância	Pesos (W_i)
População	1ª	0,61
Volume de Negócios	2ª	0,28
Volume	3ª	0,11

Fonte: o autor (2011)

Para o estabelecimento dos pesos dos critérios, ou seja, transformação da informação de ordem dos critérios em pesos foi utilizado o procedimento ROC (*ranking ordered centroid*), correspondendo a etapa 8 do Smarter. Este procedimento permite estabelecer os pesos dos critérios sem que se faça uma avaliação adicional com o decisor e institui os pesos dos critérios de acordo com as suas importâncias relativas.

Após todos os procedimentos realizados para possibilitar a agregação das funções unidimensionais das alternativas por critérios, pode-se finalmente realizar o cálculo para a obtenção do valor global de cada alternativa e efetuar a escolha das alternativas. Nessas circunstâncias, chega-se a etapa 9 do método Smarter. A Tabela 5.7 apresenta de forma sintetizada a matriz utilizada para realizar a agregação aditiva e, por sua vez, o valor multiatributo global de cada alternativa correspondente aos critérios.

Tabela 5.7- Matriz alternativa por critério, pesos e cálculo da função valor multiatributo

Alternativas	Critérios			Valor Multiatributo
	População (q^a)	V. de Negócios (q^a)	Volume (unid/m ³)	
	0,61	0,28	0,11	
P2	0,48	0,77	0,56	0,57
P7	0,55	0,00	0,89	0,44
P11	1,00	0,00	0,22	0,64
P15	0,83	0,29	0,00	0,59
P16	0,01	0,52	0,83	0,24
P17	0,30	0,72	0,78	0,47
P21	0,60	1,00	0,50	0,70
P24	0,00	0,57	0,83	0,25
P26	0,24	0,44	1,00	0,38

Fonte: o autor (2011)

A partir dos valores da função multiatributo global de cada alternativa é possível ranqueá-las da melhor para a pior. Este processo é detalhado na fase 3 do modelo proposto.

5.4 Fase 3 – Escolha e Atribuição

Os valores de cada alternativa foram calculados com o procedimento de agregação aditivo, por meio das constantes de escala, resultando em valores globais. Uma exposição ordenada das alternativas com suas respectivas pontuações para o processo de escolha e atribuição aos seus locais de armazenamento estão apresentadas na Tabela 5.8.

Tabela 5.8- Ranking das alternativas

Ranking das Alternativas		Valor Multiatributo
1 ^a	P21	0,70
2 ^a	P11	0,64
3 ^a	P15	0,59
4 ^a	P2	0,57
5 ^a	P17	0,47
6 ^a	P7	0,44
7 ^a	P26	0,38
8 ^a	P24	0,25
9 ^a	P16	0,24

Fonte: o autor (2011)

Com a aplicação exposta e as alternativas de seleção ranqueadas, dar-se início a atribuição das alternativas que fizeram parte do processo de seleção. Tem-se que essa etapa possibilita uma avaliação das alternativas com os critérios de seleção, o que resultou em uma ordenação dos produtos.

A empresa detentora do armazém torna-se portadora de informações que consentem em uma organização mais eficiente, o que pode torna-la mais competitiva no mercado. Ou seja, os seus produtos (alternativas) são armazenados em locais adequados, facilitando o processo de entrega rápida e satisfazendo as necessidades dos consumidores.

Considera-se, portanto, que a alocação mais eficiente será feita por meio da utilização deste ranqueamento das alternativas, de modo que as alternativas que possuem os maiores valores globais serão alocadas em locais mais perto do ponto de I/O. Ou seja, o padrão de armazenamento será determinado na ordem decrescente dos valores globais.

Os produtos com valores globais altos contribuem de forma significativa para o processo competitivo da organização e que sendo armazenado em locais estratégicos contribuem para a diminuição de custos de *order picking* e também para a minimização dos atrasos de entrega dos produtos. Os produtos com valores globais menores devem ser armazenados em locais distantes do ponto de I/O, uma vez que serão pouco solicitados e, por isso, atribuí-los perto do ponto de I/O não contribuirá de maneira satisfatória para o processo competitivo da organização, conforme se observa na Figura 5.1.

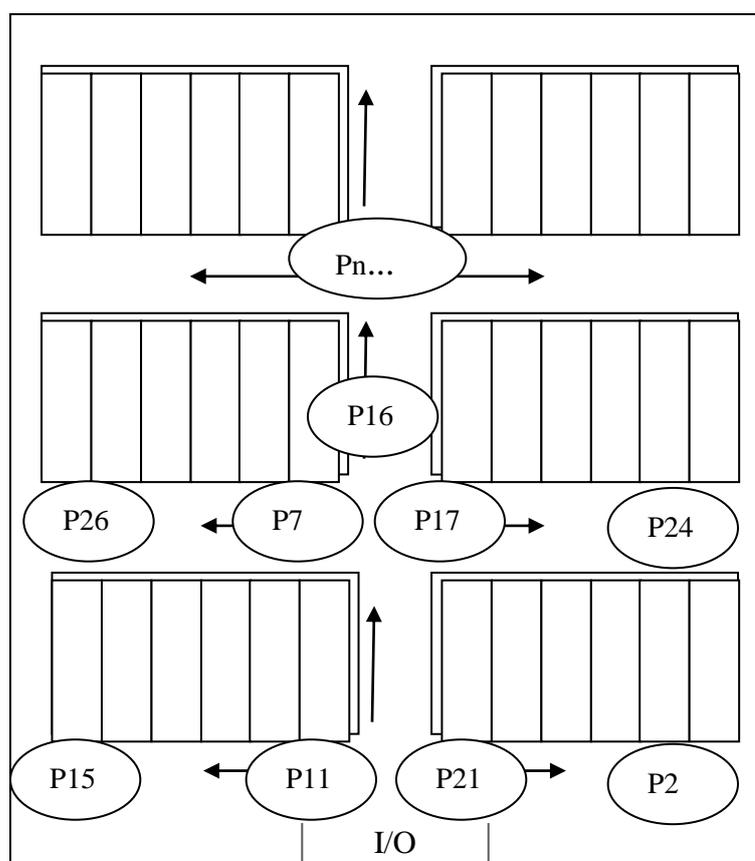


Figura 5.1– Atribuição dos produtos aos locais

Fonte: o autor (2011)

A atribuição de produtos aos locais de armazenamento segue a distribuição apresentada na ilustração da Figura 5.1. Observa-se que os locais mais próximos do ponto de I/O recebem os produtos que obtiveram as melhores pontuações no processo de ordenação e os locais que estão situados mais próximos do fundo do armazém ficam dedicados ao mix de produtos que obtiveram pontuações baixas.

Os locais mais longínquos são destinados aos produtos denominados de alternativas dominadas, que conforme as etapas do método Smarter elas não entraram no processo de ordenação do mix de produtos do armazém. Então, esses produtos serão os que menos impactam de forma significativa para os objetivos propostos no modelo, sendo conduzidos as partes mais distantes do ponto de I/O.

Ressalta-se que o modelo de atribuição de produtos para os locais de armazenamento propôs estabelecer uma diretriz de atribuição de armazenamento e não definir o endereço exato do produto. A localização exata do produto no armazém é de natureza mais complexa, dependendo de outras variáveis, como layout do armazém, incompatibilidade de produtos, correlação de demanda, tempo de *picking*, distância e etc. Portanto, foram consideradas as localizações utilizando os termos mais próximo e mais distante do ponto de I/O.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 Considerações Finais

Buscou-se por meio desta pesquisa encontrar uma possível solução para a ordenação e atribuição de produtos em suas determinadas localizações dentro do armazém. Dessa forma, este estudo serve de fonte de informações para que pesquisadores e gerentes alcancem melhorias no funcionamento do armazém, diminuindo custos e fazendo com que as organizações atinjam excelência na competitividade dentro da cadeia de suprimentos.

A decisão de atribuir um determinado produto para uma localização é um processo bastante complexo, dado os aspectos subjetivos que envolvem o decisor (gerente de produção) e as dificuldades de analisar quais os critérios devem ser considerados importantes no momento da decisão.

Tomando-se como base a revisão da literatura, foi possível diagnosticar que o processo de ordenação e atribuição de produtos para locais de armazenamento dentro dos armazéns envolve diversos atributos que entram em conflito. Pode-se constatar que os atributos não são avaliados de forma simultânea pelos gerentes de produção e que o grau de importância atribuído a cada um pode variar conforme as políticas estratégicas da organização.

As organizações necessitam de melhorar a forma como são ordenados e atribuídos os produtos para os seus respectivos locais de armazenamento. Contudo, encontram várias dificuldades para desenvolver ações que proporcionem melhorias específicas na ordenação e alocação dos produtos aos seus locais. Uma dificuldade encontrada e que é foco deste estudo é a falta de conhecimento de uma metodologia que admita uma política de atribuição que utilize múltiplos critérios em uma perspectiva compensatória.

A proposta deste trabalho foi desenvolver um modelo de apoio a decisão que fosse capaz de fazer com que o processo de ordenação e atribuição de produtos para locais de armazenamento contribua eficazmente na organização do armazém.

O método SMARTER foi utilizado como instrumento para dar suporte ao gerente de produção no processo decisório. Apesar das suas limitações, ele pode ser utilizado por ser de natureza compensatória e seus valores unidimensionais serem lineares, além de proporcionar

uma diminuição do risco inerente ao processo de tomada de decisão pelo auxílio na ação a ser tomada e também por reduzir a subjetividade do processo de decisão.

O modelo proposto explicita quais são os critérios que podem ser considerados no processo de ordenação e atribuição de produtos. Eles foram retirados da literatura, ressaltando que eram utilizados de forma monocritério e não em um política de múltiplos critérios.

A proposição do modelo se deu devido às organizações demonstrarem que realizam suas atribuições por meio de uma política baseada em um único critério ou por meio de índices. Ficou evidenciado que não existe dentro das suas políticas estratégicas de armazenamento uma metodologia multicritério formalmente construída com o intuito de promover uma organização estruturada dos produtos nos locais de armazenamento.

Observa-se como contribuição do modelo uma ordenação de produtos que podem ser alocados dentro do armazém em uma ordem decrescente, da melhor opção de produto para a pior opção de produto. Nesse sentido, os produtos que obtiverem os maiores valores globais serão alocados mais perto do ponto I/O (entrada e saída) e seguem-se as atribuições consecutivamente até que todos os produtos sejam devidamente localizados.

6.2 Proposições para Trabalhos Futuros

A partir deste estudo foi possível sugerir novas propostas de trabalhos. Conferem maior importância as seguintes:

- Testar a viabilidade da aplicação do modelo multicritérios de ordenação e atribuição de produtos para suas localizações, por meio de um estudo de caso, em empresas que possuam diferentes tipos de políticas de alocação de produtos, com vistas a estabelecer uma comparação entre os resultados alcançados;
- Desenvolver uma metodologia para a atribuição dos produtos retirados (alternativas dominadas) do modelo proposto;
- Desenvolver um *software* que permita as organizações programarem a estrutura exposta do modelo;
- Utilizar outros métodos que consideram critério único de síntese, como por exemplo, o MAUT que permite a introdução de incertezas (riscos associados ao armazém) e fazer uma comparação com o método Smarter;
- Estruturar um modelo de atribuição de produtos que utilize outros critérios ou um maior número de critérios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Adiel Teixeira de. *O Conhecimento e o uso de Métodos Multicritério de Apoio a Decisão*. Recife/PE, Editora Universitária da UFPE, 2011.
- ATAMANCZUK, Maurício João. Modelo de arranjo físico de armazém baseado em classificação de estoque de supermercado. Ponta Grossa, 2009, 106 págs. (Mestrado - UTFPR)
- AWASTHI, Anjali; CHAUHAN, S.S.; GOYAL, S.K. A multi-criteria decision making approach for location planning for urban distribution centers under uncertainty. *Mathematical and Computer Modelling*, 53, 98–109, 2011.
- BADRI, Masood A. Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location-allocation problem. *Faculty of Business and Economics, United Arab Emirates University*, 1999.
- BALLOU, Ronald H. *Logística Empresarial: Transportes, Administração de Materiais, Distribuição Física*. 1ª Ed.. São Paulo, Atlas, 2009.
- BALLOU, Ronald H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/ Logística Empresarial*. 5ª Edição. Porto Alegre, Bookaman, 2006.
- BARROS, Monica Coutinho de. Warehouse Management System (WMS): Conceitos Teóricos e Implementação em um Centro de Distribuição. Rio de Janeiro: 2005, 123 págs.. (Mestrado – PUC/RJ)
- BELTON, V; Stewart, T.J. *Multiple Criteria Decision Analysis*. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- BERG, Van Den P. Jeroen. A literatura survey on planning and control of warehousing systems. *IIE Transactions*, Twente, 31 (8), 751-762, 1999a.
- BERG, J.P. Van Den; ZIJM, W.H.M.. Models for warehouse management: Classification and examples. *Int. J. Production Economics*, Twente, 59, 519-528, 1999b.
- BLOCH, Soren; CHRISTIANSEN, Christian H.. Simultaneously Optimizing Storage Location Assignment at Forward Area and Reserve Area: a Decomposition Based Heuristic. *Center for Operations Research Applications in Logistics*, Aarhus, 8, 2008.
- BOUYSSOU, Denis; PIRLOT, Marc .In: FIGUEIRA, José; GRECO, Salvatore; EHRGOTT, Matthias. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys. Springer's international series. *Operations Research e Management Science*, 2005.
- BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. *Logística Empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos*. 1ª Edição. São Paulo: Atlas, 2008.

- BROUGHAM, R., R.; WALSH, D. A. Goal expectations as predictors of retirement intentions. *The International Journal of Aging and Human Development*, 61 (2), 141-160, 2005.
- BRYNZER, H.; Johansson, M.I..Storage location assignment: Using the product structure to reduce order picking times. *Int. J. Production Economics*, 46 (47), 595 - 603, 1996.
- CARON, F.; MARCHET, G.; PEREGO, A. Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems, *International Journal of Production Research*, Milano, 36 (3), 713-732, .1998.
- CAVALCANTI, Rebeca Campos. Sistema Multicritério para Apoiar a Compra de Imóveis Urbanos Multifamiliares do Mercado Imobiliário Recifense Baseado no Método Smarts. Recife, 2007, 87 págs. (Mestrado – UFPE)
- CERIBELLI, Marilda Corrêa. *Como Elaborar uma Dissertação de Mestrado através da pesquisa científica*. Rio de Janeiro, 7Letras, 2003.
- CHAN, Felix T.S.; CHAN, H.K..Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. *Expert Systems with Applications*, 38, 2686–2700, 2011.
- CHEN, M.-C.; WU, H.-P.. An association-based clustering approach to order batching considering customer demand patterns. *Omega*, 33 (4), 333–343, 2005.
- CHEN, Lu; LANGEVIN, André; RIOPEL, Diane; MONTULET, Pierre. A Heuristic Approach for the Shared Storage Based on the Duration-of-Stay of Unit Loads. *Les Cahiers du GERAD*, Maio/2008.
- CHING, Hong Yuh. *Gestão de Estoques na Cadeia de Logística Integrada – Supply Chain*. São Paulo, Atlas, 1999.
- CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operação*. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2003.
- CORRÊA, H. L. *Uso de simulação para dimensionamento e gestão de estoques de peças sobressalentes*. SIMPOI/FGV SP. São Paulo, volume 14, 1998.
- CHUANG, Pao-Tiao. A QFD approach for distribution’s location model. Department of Asia-Pacific Industrial and Business Management. *International Journal of Quality & Reliability Management*. Taiwan, 19 (8/9), 1037-1054, 2002.
- Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP). *Supply Chain Management terms and glossary*. Disponível em: <http://cscmp.org/digital/glossary/glossary.asp>. Acesso em: 19 de janeiro de 2011.
- DANIELS, Richard L.; RUMMEL Jeffrey L.; SCHANTZ, Robert. A model for warehouse order picking. *European Journal of Operational Research*, 105, 1-17, 1998.

- DE KOSTER, René; LE-DUC, Tho; ROODBERGEN, Kees Jan. Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182, 481–501, 2007.
- DUKIC, Goran; CESNIK, Vedran; OPETUK, Tihomir. Order-picking Methods and Technologies for Greener Warehousing. *Strojarstvo*, 52 (1), 23-31, 2010.
- EDWARDS, Ward; BARRON, F. Hutton. Smars and Smarter: Improved Simple Methods for Multiattribute utility Measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 60, 306-325, 1994.
- FARIA, Ana Cristina de; COSTA, Maria de Fátima Gameiro da. *Gestão de Custos Logísticos*. 1ª Ed.. São Paulo, Atlas, 2010.
- FERREIRA, Heldemarcio Leite. Modelos Multicritério de Localização de Transformadores Reservas no Contexto de Planejamento de Manutenção. Recife, 2009, 147 págs. (Tese – UFPE).
- FIGUEIRA, José; MOUSSEAU, Vincent; ROY, Bernard .In: FIGUEIRA, José; GRECO, Salvatore; EHRGOTT, Matthias. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys. Springer's international series. *Operations Research e Management Science*, 2005.
- FONTANA, Marcele Elisa. Utilização do número de clientes para formação de classe e localização dos itens em armazéns. Recife, 2010, 111 págs. (Mestrado - UFPE)
- FRAZELLE, Edward. *World-class warehousing and material handling*. 2002.
- GARCIA, E. S.; REIS, L. M. T. V. dos; MACHADO, L. R.; FILHO, V. J. M. F.. *Gestão de Estoques: Otimizando a Logística e a Cadeia de Suprimentos*. 1ª Edição. Rio de Janeiro: E-papers, 2006.
- GARFINKEL, Maurice .Minimizing Multi-zone Orders in the Correlated Storage Assignment Problem. Georgia Institute of Technology, 2005, 93 págs, (Tese - School of Industrial and Systems Engineering)
- GIL, A. C. *Técnicas de Pesquisa em Economia*. 2ª Ed.. São Paulo, Atlas, 2002.
- GOEBEL, D.. Logística – Otimização do Transporte e Estoques na Empresa. Estudos em Comércio Exterior. Rio de Janeiro, ECEX/IE/UFRJ, 1 (1), 1996
- GOETSCHALCKX, Marc; RATLIFF. Shared Storage Policies Based on the Duration Stay of Unit Loads. *Management Science*. 36 (9), 1120 – 1132, 1990.
- GOMES, Luiz Flavio Autran Monteiro; GOMES, Carlos Francisco Simões; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. *Tomada de Decisão Gerencial: enfoque multicritério*. 3ª Ed.. São Paulo, Atlas, 2009.

- GOMES, Luiz Flavio Autran Monteiro; ARAYA, Marcela Cecília González; CARIGNANO, Claudia. *Tomada de Decisões em Cenários Complexos: Introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão*. São Paulo, Pioneira Thomson Learning, 2004.
- GRAVES, S.C.; HAUSMAN, W.H.; SCHWARZ, L.B. Storeretrieval interleaving in automatic warehousing systems. *Management Science*, Rochester, 23 (9), 935–945, 1977.
- GU, Jinxiang; GOETSCHALCKX, Marc; MCGINNIS, Leon F.. Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, Atlanta, 177, 1–21, 2007.
- GU, Jinxiang; GOETSCHALCKX, Marc; MCGINNIS, Leon F.. Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research* 203, 539–549, 2010.
- GUVENIR, H. Altay; EREL, Erdal. Multicriteria inventory classification using a genetic algorithm. *European Journal of Operational Research* 105, 29-37, 1998.
- HAUSMAN, W.H.; SSHWARZ, L.B.; GRAVES, S.C.. Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management Science*, Rochester, 22 (6), 629–638, 1976.
- HESSE, Markus; RODRIGUE, Jean-Paul .The transport geography of logistics and freight distribution. *Journal of Transport Geography*, 12, 171–184, 2004.
- KEENEY, Ralph L. *Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decisionmaking*. Havard, 1992.
- KOVACS, Andras. Optimizing the Storage Assignment in a Warehouse Served by Milkrun Logistics. *Computer and Automation Research Institute*, 2008.
- LIN, Che-Hung; Iuan-Yuan LU. The procedure of determining the order picking strategies in distribution center. *Int. J. Production Economics*, 60 (61), 301-307, 1999.
- LOPES, Yuri Gama; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. Enfoque Multicritério para a Localização de Instalações de Serviço: Aplicação do Método SMARTER. *Revista eletrônica Sistemas & Gestão*, 3 (2), 114-128, 2008.
- MANZINI Riccardo; GAMBERI Mauro; PERSONA, Alessandro; REGATTIERI, Alberto. Design of a class based storage picker to product order picking system. *Int J Adv Manuf Technol*, 32, 811–821, 2007.
- MORAIS, Danielle Costa. Modelagem Multicritério em Grupo para Planejamento Estratégico do Controle de Perdas no Abastecimento. Recife, 2006, 148 págs. (Tese - UFPE)

- MOREIRA, Daniel Augusto. *Administração da Produção e Operações*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.
- MOURA, Reinaldo Aparecido. *Manual de Logística: Armazenagem e distribuição física*. São Paulo: IMAM, 1997, volume 2.
- MUPPANI, Venkata Reddy; ADIL, Gajendra Kumar. Efficient formation of storage classes for warehouse storage location assignment: Asimulated annealing approach. *Omega*, 36, 609 – 618, 2008.
- OZCAN, Tuncay; CELEBI, Numan; ESNAF, SAKir. Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem. *Department of Industrial Engineering, Istanbul University*, 2011.
- PAN, Jason Chao-Hsien; WU, Ming-Hung. A study of storage assignment problem for an order picking line in a pick-and-pass warehousing system. *Computer & Industrial Engineering*. 57, 261-268, 2009.
- PARTOVI, Fariborz Y; ANANDARAJAN, Murugan. Classifying inventory using an artificial neural network approach. *Computers & Industrial Engineering*, 41 (4), February 2002, 389-404.
- PETERSON, Charles G. II. G..The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency. *International Journal of Operations & Production Management*. Illinois, 19 (10), 1053-1064, 1999.
- PETERSEN, C.G., SCHMENNER, R.W.. An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order picking operation. *Decision Sciences* 30 (2), 481–501, 1999. Disponível em: http://findarticles.com/p/articles/mi_qa3713/is_199904/ai_n8839940/?tag=content;coll . Acesso em: 28 de Fevereiro de 2011.
- PETERSEN, Charles G.; AASE, Gerald R.; HEISER, Daniel R.. Improving order-picking performance: through the implementation of class-based storage. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 34 (7), 534-544, 2004.
- PETERSEN, Charles G.; SIU, Charles; HEISER, Daniel R.. Improving order picking performance utilizing slotting and golden zone storage. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(10), 997-1012, 2005.
- ROODBERGEN, Kees Jan; VIS Iris F.A. A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European Journal of Operational Research*, 194, 343–362, 2009.
- RODRIGUES, Gisela Gonzaga; PIZZOLATO, Nélio Domingues. Centros de Distribuição: armazenagem estratégica. In: XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto/MG, 2003,
- ROSENBLATT, M.J.; EYNAN, A.. Deriving the optimal boundaries for class-based automatic storage/retrieval systems. *Management Science*, 35 (12), 1519–1524, 1989.

- ROWENHORST, B.; REUTER, B.; STOCKRAHM, V.; VAN HOUTUM, G.J.; MANTEL, R.J.; ZIJM, W.H.M.. Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122, 515–533, 2000.
- ROY, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- ROY, Bernard .In: FIGUEIRA, José; GRECO, Salvatore; EHRGOTT, Matthias. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys. Springer's international series. *Operations Research e Management Science*, 2005.
- RUBEN, Robert A.; JACOBS, F. Robert. Batch Construction Heuristics and Storage Assignment Strategies for Walk/Ride and Pick Systems. *Management Science*, 45 (4), 575-596, Abril/ 1999.
- SCHRAMM, Fernando. Modelo de Apoio a Decisão para Seleção e Avaliação de Fornecedores na Cadeia de Suprimentos da Construção Civil. Recife, 2008, 76 págs. (Mestrado - UFPE)
- SHOUMAN, M.A.; KHATER, M.; BOUSHAALA, Amer A.. Comprehensive survey and classification scheme of warehousing systems. *Proceedings of the 2005 International Conference on Simulation and Modeling*. 2005.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON,R.. *Administração da Produção*. 2ª Ed.. São Paulo, Atlas, 2007.
- SZAJUBOK, Nadia Kelner; MOTA, Caroline Maria de Miranda; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. Uso do Método Multicritério Electre Tri para classificação de estoques na construção civil. *Pesquisa Operacional*. São Paulo, 625-646, 2006.
- TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R.; AMIN, S. Hassanzadeh; ZHANG, G. A Proposed Decision Support System for Location Selection using Fuzzy quality Function Deployment. *Decision Support Systems*, pág. 342, 2010.
- TOMPKINS, J.A., WHITE, J.A., BOZER, Y.A., Frazelle, E.H., TANCHOCO, J.M.A.. *Facilities Planning*. John Wiley & Sons, ISBN 978-0-470-44404-7, 2003.
- TRIGUEIRO, Fernando. *Administração de Materiais: Um Enfoque Prático (Visão Logística)*. 4ª Edição. Recife-PE, 2001.
- VINCKE, P. *Multicriteria decision-aid*. John Wiley & Sons. ISBN: 0-471-93184-5, 1992.
- WINTERFELDT, D. Von. Structuring Decision Problems for Decision Analysis, *Acta Psychologica*, 45, 71-93, 1980.