

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

NATALIA VELOSO CALDAS DE VASCONCELOS

UMA ABORDAGEM PARA RESOLUÇÃO DO FORWARD RESERVE PROBLEM (FRP)  
ATRAVÉS DA ABORDAGEM GOAL PROGRAMMING E PROMSORT

RECIFE

2018

NATALIA VELOSO CALDAS DE VASCONCELOS

UMA ABORDAGEM PARA RESOLUÇÃO DO FORWARD RESERVE PROBLEM (FRP)  
ATRAVÉS DA ABORDAGEM GOAL PROGRAMMING E PROMSORT

Tese submetida ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional  
Linha de pesquisa: Pesquisa Operacional

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Alexandre  
Virgínio Cavalcante

RECIFE

2018

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

V331a Vasconcelos, Natalia Veloso Caldas de.  
Uma abordagem para resolução do forward reserve problem (frp) através da abordagem goal programming e promsort. / Natalia Veloso Caldas de Vasconcelos. - 2018.  
117folhas, Il., Eq., e Tabs.

Orientadora: Prof. Dr. Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Engenharia de produção, 2018.  
Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia de produção. 2. Armazém. 3. Forward reserve problem. 4. Alocação. 5. Goal programming. 5. Multicritério. I. Cavalcante, Cristiano Alexandre Virgínio(Orientador). II. Título.

UFPE

658.5CDD (22. ed.)

BCTG/2018-246

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**  
**PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA**  
**DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO DE**

*NATÁLIA VELOSO CALDAS DE VASCONCELOS*

“UMA ABORDAGEM PARA RESOLUÇÃO DO FORWARD RESERVE  
PROBLEM (FRP) ATRAVÉS DA ABORDAGEM GOAL PROGRAMMING  
E PROMSORT”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GERÊNCIA DA PRODUÇÃO

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera a candidata NATÁLIA VELOSO CALDAS DE VASCONCELOS, **APROVADA.**

Recife, 16 de Maio de 2018.

---

Prof. Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante (Doutor, PPGE/UFPE)

---

Prof<sup>a</sup>. Caroline Maria de Miranda Mota (Doutora, PPGE/UFPE)

---

Prof<sup>a</sup> Denise Dumke de Medeiros (Docteur, PPGE/UFPE)

---

Prof. Oscar Olimpio de Araujo Filho (Doutor, Dep. de Engenharia Mecânica/UFPE)

---

Prof<sup>a</sup>. Lúcia Maria Mafra Valença (Docteur Dep. de Geologia/UFPE)

## RESUMO

A importância da atividade de picking para o bom gerenciamento do armazém faz com que ele se destaque devido à sua participação nos custos da atividade de armazenamento. O desafio desta atividade é coletar os itens na menor distância e tempo possíveis, assegurando a escolha da melhor maneira, garantindo o menor custo, menor tempo de atendimento ao cliente e cumprimento da demanda. Neste estudo a resolução do *forward reserve problem* (FRP) caracterizado pela divisão de um armazém em duas áreas onde determinadas unidades de conservação de estoque são alocadas na área de avanço e outras são colocadas na área de reserva, foi resolvido através da abordagem *goal programming* e da problemática de classificação, com a finalidade de disponibilizar novas possibilidades para a alocação de produtos, considerando a satisfação dos clientes e analisando a participação do decisor na avaliação das alternativas. A metodologia de pesquisa é composta da construção de modelos de decisão. O problema é resolvido através da sua abordagem clássica, no caso o FRP e posteriormente foi resolvido a partir de um problema de decisão multicritério, aplicando a *goal programming* e em seguida a abordagem de classificação. Serão considerados aspectos que podem afetar o desempenho do armazém como demanda e satisfação do cliente. A seção de aplicação apresenta um exemplo ilustrativo e discute os resultados que mostram o desempenho sobre as abordagens e envolvimento com o tomador de decisão e como essa participação pode afetar a *performance* do armazém. Com os resultados apresentados foi possível identificar as discrepâncias entre os indicadores, inclusive considerando os diferentes cenários, e como questões como a capacidade da *forward area* (FA) interfere de maneira considerável a alocação dos produtos.

**Palavras-chave:** Armazém. Forward reserve problem. Alocação. Goal programming. Multicritério.

## ABSTRACT

The importance of the picking activity to the good manager of the warehouse makes it stand out due to its participation in the costs of the storage activity. The challenge of this activity is to separate the items in the shortest distance and possible time, ensuring the choice of the best way, guaranteeing the lowest cost, shorter customer service time and demand compliance. In this study, the resolution of the forward reserve problem (FRP), characterized by the division of a warehouse into two areas where certain stockholding units are allocated in the advance area and others are placed in the reserve area, was solved through the goal programming approach and of the problematic of classification, with the purpose of providing new possibilities for the allocation of products, considering the satisfaction of the clients and analyzing the participation of the decision maker in the evaluation of the alternatives. The research methodology is composed of the construction of decision models. The problem is solved through its classical approach, in the case the FRP and later will be solved from a multicriteria decision problem, applying the goal programming and later the classification approach. Considerations that may affect warehouse performance such as demand, customer satisfaction, and other aspects that may affect warehouse activity will be considered. The application section provides an illustrative example and discusses the results that show the performance on approaches and involvement with the decision maker and how this involvement can affect warehouse performance. With the results presented, it was possible to identify the discrepancies between the indicators, including in the different scenarios, and how issues such as the capacity of the forward area (FA) significantly interfere with the allocation of the products.

**Keywords:** Warehouse. Forward reserve problem. Allocation. Goal programming. Multicriteria.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Custos de armazenagem por atividade.....	13
Figura 2 – Esquema de metodologia.....	14
Figura.3 – Estrutura do estudo.....	15
Figura 4 – Evolução da Logística.....	16
Figura 5 – Composição das atividades logísticas.....	18
Figura 6 – Relacionamento entre as atividades.....	19
Figura 7 – Operação de um armazém.....	20
Figura 8 – Exemplo de um carrossel.....	24
Figura 9 – Máquina de dispensa automática de produtos.....	25
Figura 10 – Gráfico de citações por ano.....	29
Figura 11 – Gráfico de citações por ano.....	32
Figura 12 – Gráfico de citações por ano.....	34
Figura 13 – Layout Armazém com FA e RA.....	39
Figura 14 – Etapas procedimento da modelagem multicritério.....	60
Figura 15 – Classes do PROMSORT.....	80
Figura 16 – Análise Demanda – 10.000 de Capacidade na FA.....	90
Figura 17 – Análise Demanda – 15.000 de Capacidade na FA.....	91
Figura 18 – Análise Clientes– 10.000 de Capacidade na FA.....	92
Figura 19 – Análise Clientes– 15.000 de Capacidade na FA.....	92
Figura 20 – Análise Tempo – 10.000 de Capacidade na FA.....	93
Figura 21 – Análise Tempo – 15.000 de Capacidade na FA.....	94
Figura 22 – Análise Ocupação– 10.000 de Capacidade na FA.....	94
Figura 23 – Análise Ocupação– 15.000 de Capacidade na FA.....	95
Figura 24 – Análise de Sensibilidade - 10.000 de FA.....	96

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Modelo FRP.....	38
Equação 2 - Modelo B-FRP.....	41
Equação 3 - Procedimento de Normalização.....	47
Equação 4 - Modelo geral programação por metas.....	50
Equação 5 - Modelo Goal Programming.....	59
Equação 6 - Ocupação FA.....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média de citações por artigo.....	30
Tabela 2 – Média de citações por artigo.....	32
Tabela 3 – Média de citações por artigos.....	34
Tabela 4 – Estudos relevantes sobre a temática do FRP.....	43
Tabela 5 – Matriz de consequência.....	46
Tabela 6 – Ordem de preferência dos critérios.....	63
Tabela 7 – Cenários.....	64
Tabela 8 – Avaliação Intracritério.....	65
Tabela 9 – Resultados aplicação FRP, FA 15.000/10 Produtos.....	68
Tabela 10 – Resultados aplicação FRP, FA 10.000/10 Produtos .....	69
Tabela 11 – Resultados aplicação FRP, FA 15.000/20 Produtos.....	69
Tabela 12 – Resultados aplicação FRP, FA 10.000/20 Produtos.....	70
Tabela 13 – Resultados aplicação FRP, FA 15.000/25 Produtos.....	71
Tabela 14 – Resultados aplicação FRP, FA 10.000/25 Produtos.....	72
Tabela 15 – Resultados aplicação GP, FA 15.000/10 Produtos.....	74
Tabela 16 – Resultados aplicação GP, FA 10.000/10 Produtos.....	75
Tabela 17 – Resultados aplicação GP, FA 15.000/20 Produtos.....	75
Tabela 18 – Resultados aplicação GP, FA 10.000/20 Produtos.....	76
Tabela 19 – Resultados aplicação GP, FA 15.000/25 Produtos.....	77
Tabela 20 – Resultados aplicação GP, FA 10.000/25 Produtos.....	78
Tabela 21 – Perfis limite das categorias.....	80
Tabela 22 – Resultados aplicação PROMSORT, FA 10.000/10 Produtos.....	81
Tabela 23 – Resultados aplicação PROMSORT, FA 15.000/10 Produtos.....	81
Tabela 24 – Resultados aplicação PROMSORT, FA 10.000/20 Produtos.....	82
Tabela 25 – Resultados aplicação PROMSORT, FA 15.000/20 Produtos.....	82
Tabela 26 – Resultados aplicação PROMSORT, FA 10.000/25Produtos.....	83
Tabela 27 – Resultados aplicação PROMSORT, FA 15.000/25 Produtos.....	83
Tabela 28 – Resultados FRP, tempo gasto.....	84
Tabela 29 – Resultados FRP, ocupação FA.....	84
Tabela 30 – Resultados FRP, clientes.....	85
Tabela 31 – Resultados FRP, demanda.....	85
Tabela 32 – Resultados aplicação FRP.....	86
Tabela 33 – Resultados GP, tempo gasto.....	86
Tabela 34 – Resultados GP, ocupação FA.....	87
Tabela 35 – Resultados GP, clientes.....	87
Tabela 36 – Resultados GP, demanda.....	88
Tabela 37 – Resultado aplicação GP.....	88
Tabela 38 – Resultados aplicação classificação, tempo gasto.....	88
Tabela 39 – Resultados aplicação classificação, ocupação FA.....	89
Tabela 40 – Resultados aplicação classificação, clientes.....	89
Tabela 41 – Resultados aplicação classificação, demanda.....	89
Tabela 42 – Resultados aplicação classificação.....	90
Tabela 43 – Presença do decisor x abordagem utilizada.....	97

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>12</b>
1.2.1	Geral.....	12
1.2.2	Específicos .....	12
<b>1.2</b>	<b>Relevância e contribuição do estudo.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3</b>	<b>Metodologia .....</b>	<b>14</b>
<b>1.4</b>	<b>Estrutura do trabalho .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>CONCEITOS GERAIS.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Gestão da Logística Empresarial .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Gestão da armazenagem .....</b>	<b>19</b>
2.2.1	Tipologias de sistema de armazenagem .....	21
2.2.1.1	<i>Manual (picker-to-product) .....</i>	<i>22</i>
2.2.1.2	<i>Automatizado (product-to-picker).....</i>	<i>23</i>
2.2.1.3	<i>Automático .....</i>	<i>25</i>
2.2.2	Políticas de armazenamento – Métodos de alocação de produtos. ....	26
<b>2.3</b>	<b>Warehousing Policies, Storage Location Assignment e Warehousing Systems: Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>28</b>
2.3.1	Warehousing Systems .....	29
2.3.2	Storage Location Assignment .....	31
2.3.3	Warehousing Policies .....	34
<b>2.4</b>	<b>Síntese Conclusiva .....</b>	<b>35</b>
<b>3</b>	<b>ABORDAGENS PARA SOLUÇÃO DO FORWARD RESERVE PROBLEM (FRP).....</b>	<b>37</b>
<b>3.1</b>	<b>Forward reserve problem (FRP) .....</b>	<b>37</b>
3.1.1	Pesquisas sobre Forward reserve problem.....	42
<b>3.2</b>	<b>Modelos multicritério de apoio à decisão .....</b>	<b>44</b>
3.2.1	Problemáticas multicritério e estrutura de preferência.....	45
3.2.2	Objetivos e Avaliações de Critérios e Procedimentos de Normalização .....	47
3.2.3	Métodos compensatórios e não compensatórios .....	48
3.2.4	Métodos multicritério de apoio à decisão .....	48
3.2.5	Goal programming .....	49
3.2.5.1	<i>Solução de problemas de goal programming.....</i>	<i>51</i>

3.3	Síntese Conclusiva .....	52
<b>4</b>	<b>ESTRUTURAÇÃO DO MODELO PARA FORWARD RESERVE PROBLEM (FRP).....</b>	<b>53</b>
4.1	Abordagem Forward reserve problem (FRP) .....	56
4.2	Goal programming .....	57
4.3	Problemática de Classificação.....	59
4.4	Síntese Conclusiva .....	66
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO: FRP, GOAL PROGRAMMING E PROMSORT.....</b>	<b>67</b>
5.1	Abordagem forward reserve problem (FRP) .....	67
5.2	Goal programming .....	73
5.3	Problemática de Classificação.....	79
5.4	Resultados e análises .....	83
5.4.1	Cenário 1 – FRP.....	83
5.4.2	Cenário 2 – Goal programming .....	86
5.4.3	Cenário 3 – Classificação .....	88
5.4.4	Análise dos resultados .....	90
5.4.5	Análise de sensibilidade .....	95
5.5	Síntese Conclusiva .....	97
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>98</b>
6.1	Conclusões .....	98
6.2	Limitações e trabalhos futuros.....	99
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>100</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>106</b>
	<b>APÊNDICE A – TABELAS REFERENTES AOS DADOS UTILIZADOS PARA CÁLCULOS DAS ABORDAGENS FRP, GOAL PROGRAMMING E PROMSORT.....</b>	<b>106</b>
	<b>APÊNDICE B – DADOS REFERENTES À APLICAÇÃO DO PROMSORT NO VISUAL PROMETHEE.....</b>	<b>108</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Quader (2018) afirma que *order-picking* é a atividade para recuperar itens das prateleiras para atender aos pedidos dos clientes. A atividade de *order-picking* é uma das operações mais dispendiosas no custo de armazenagem, representando 50 a 75% dos custos operacionais totais. O desafio desta atividade é como fazer cada vez mais separações de itens percorrendo menores distâncias e em menos tempo, além de agregar valor ao cliente.

Diante da importância da atividade de *picking* para armazenagem, esta atividade encontra-se em destaque e por este motivo foi escolhida para ser objeto deste estudo.

Em um armazém, há várias decisões a serem tomadas que impactam nos resultados da organização. Entre elas a atividade de *picking*. Esta atividade consiste na coleta de produtos dentro do armazém para o envio aos clientes.

Para a abordagem clássica *binary-forward reserve problema* (B-FRP) esta destinação é feita baseada somente nos tempos, ou seja, a função objetivo é minimizar o tempo gasto na destinação dos produtos aos locais de armazenamento. Considerando que outros aspectos também são relevantes para a tomada de decisão, esta pesquisa apresentará diferentes maneiras de tratar o problema FRP, além dessa maneira clássica.

Duas abordagens serão apresentadas: *goal programming* (GP) e classificação. Vale ressaltar que ambas abordagens irão considerar a presença do decisor de forma mais efetiva, porém com intensidades diferentes. O B-FRP não leva em consideração a presença do decisor para a tomada de decisão.

A abordagem GP irá considerar outros aspectos que não são levados em questão no problema clássico, como atingimento da demanda, ocupação da *forward area* (FA) e atendimento de clientes.

Já a abordagem de classificação, através da aplicação do PROMSORT, será utilizada quando as preferências do decisor forem incorporadas ao modelo de forma mais ampla, ou seja, esta abordagem considera que o decisor tem tempo para participar de forma mais presente da resolução do problema e/ou tem disposição para participar do processo de tomada de decisão. Desta forma, além de considerar a relação conflitante entre os critérios, irá também avaliar a estrutura de preferência do decisor com relação a esses critérios, para posteriormente identificar quais produtos serão alocados em cada área do armazém.

Estas análises terão como saída para o gestor do armazém, quais produtos devem ser designados a FA e *reserve area* (RA), assim como quais suas quantidades. Alguns

indicadores serão analisados com a intenção de tornar a pesquisa mais relevante no sentido de fornecer uma gama maior de informações ao decisor.

## **1.1 Objetivos**

### 1.2.1 Geral

Propor a resolução do *forward reserve problem* (FRP) através da abordagem *goal programming* e da problemática de classificação, com a finalidade de disponibilizar novas possibilidades para a alocação de produtos, considerando a satisfação dos clientes e analisando a participação do decisor na avaliação das alternativas.

### 1.2.2 Específicos

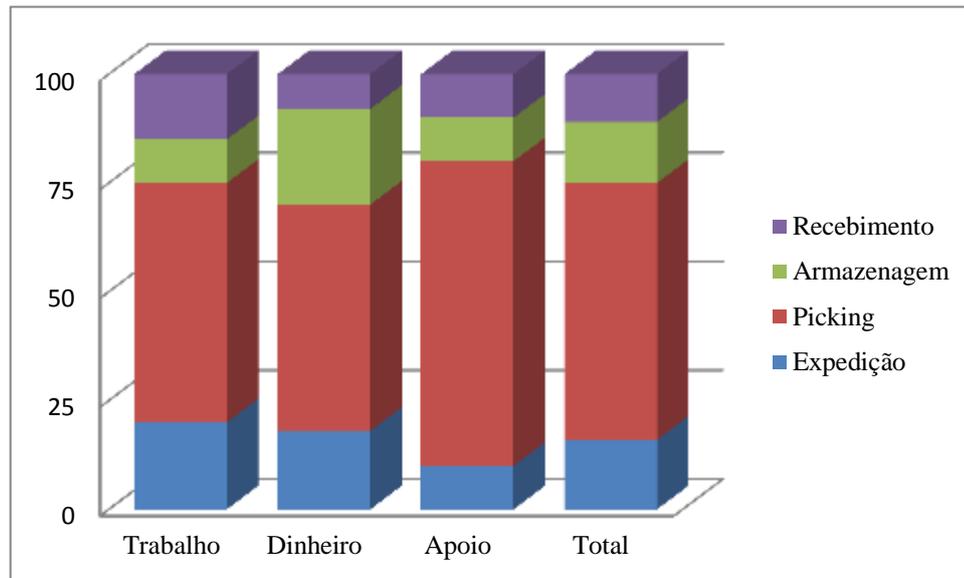
Tendo o objetivo geral como meta principal desta pesquisa, e considerando os objetivos específicos listados abaixo, que cumpridos em sua totalidade, atingirá o propósito deste estudo.

- Selecionar as abordagens para alocação de produtos em armazéns a fim de identificar lacunas vulneráveis à adaptações;
- Incorporar a importância dos clientes na problemática do FRP;
- Transformar o problema FRP em um problema de *goal programming*, considerando aspectos relacionados ao atendimento ao cliente;
- Modelar o problema através de uma problemática de classificação;
- Analisar o problema FRP no tocante a diferentes aspectos concernentes à participação do decisor;
- Analisar os resultados obtidos pela aplicação da *goal programming* e da abordagem de classificação, de forma independente, desenvolvendo análises críticas no tocante a aplicabilidade no ambiente organizacional.

## **1.2 Relevância e contribuição do estudo**

De Koster et al. (2007) afirma que os custos de *picking* são muitas vezes responsáveis por mais de 50% do total de despesas operacional do armazém. Na Figura 1 é apresentada a distribuição dos custos por atividade desenvolvida no armazém. É possível verificar que os custos relacionados à atividade de *picking* representa o maior montante perante os demais apresentados.

Figura 1 – Custos de armazenagem por atividade.



Fonte: Adaptado de Van den Berg (1999).

A atividade de *picking* é complexa e pode ter diversas variações, desde como a separação de pedidos é feita: unitário, por lote, por zona ou por onda; ou como é o *layout* do armazém e como os produtos estão dispostos.

Conforme Jane & Laih (2005) com a competição entre as organizações cada vez mais acirrada, a crescente ênfase no melhor tempo de entrega e nas normas de precisão fazem o sistema de *order picking* desempenhar um papel cada vez mais importante em um centro de distribuição.

Este estudo levará em consideração a configuração do armazém conforme o FRP, ou seja, o armazém será dividido em duas áreas e o foco do estudo será em apresentar diferentes maneiras de definir onde os produtos serão alocados, visando tornar a atividade de *picking* mais rápida, através da alocação de produtos na área da frente, visto que a alocação de produtos na área da frente demora menos tempo do que a alocação dos produtos na área de trás do armazém, além de considerar o atendimento da demanda durante o período de *picking*, e buscar atender o máximo de clientes possível, considerando aspectos relacionados ao giro dos produtos no armazém, e também considerando a relação entre o espaço requerido pelos produtos e o número de clientes atendidos.

### 1.3 Metodologia

Para classificar a pesquisa é necessário analisar aspectos relacionados com a natureza da pesquisa, objetivos, abordagem e procedimentos. Com relação à classificação da pesquisa no tocante a natureza a mesma caracteriza-se como aplicada.

No que se refere aos objetivos caracteriza-se como descritiva e exploratória. Visto que se faz uso de um modelo matemático, para o qual as fórmulas e procedimentos são descritos de acordo com um determinado conjunto de suposições.

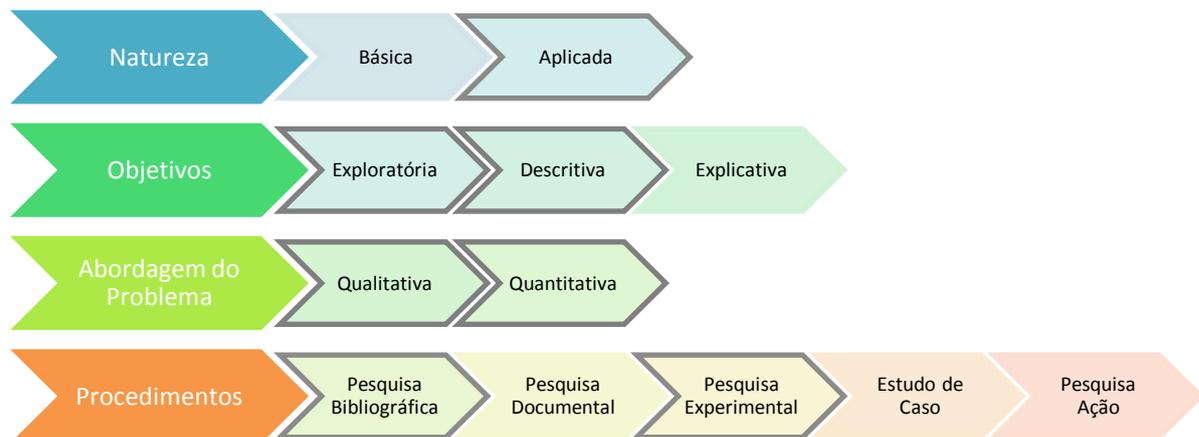
A simulação será utilizada visto que possibilita analisar vários cenários, considerando diferentes configurações e obtêm-se resultados computacionais, que suportam a tomada de decisão em situações reais.

Sob o ponto de vista da abordagem do problema, esta pesquisa é considerada qualitativa e quantitativa, também conhecida de abordagem combinada.

Com relação aos procedimentos, a presente pesquisa é caracterizada como pesquisa bibliográfica e experimental.

O esquema com a classificação resumida da pesquisa pode ser visualizado na Figura 2.

*Figura 2 - Esquema de metodologia.*



*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

A metodologia de pesquisa é composta da construção de modelos de decisão. O problema é resolvido através da sua abordagem clássica, no caso o FRP e posteriormente será resolvido a partir de um problema de decisão multicritério. Considerando a definição do problema de decisão e posterior estruturação, serão desenvolvidos os modelos de decisão considerando os métodos multicritério adequados para o problema.

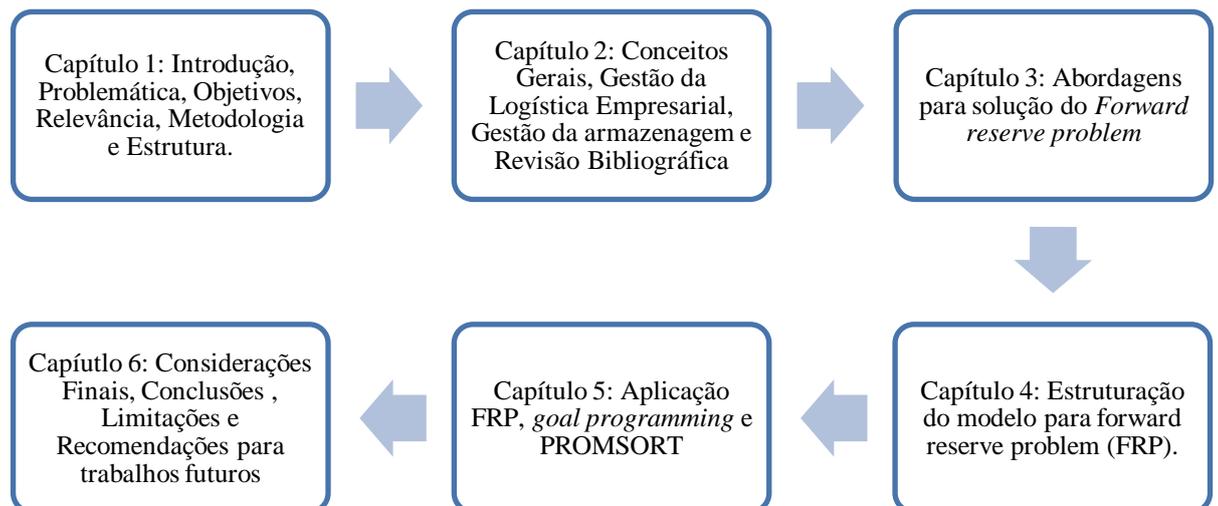
Para execução dos cálculos do estudo foi utilizado o *software Microsoft Office Excel*, versão 2010 e o *Visual PROMETHEE Academic 1.4.0.0*.

#### 1.4 Estrutura do trabalho

O presente estudo será estruturado em seis capítulos. Este primeiro introdutório, no segundo capítulo serão expostos os conceitos, tipologias e políticas relacionadas com o tema central do estudo, visando integrar o leitor ao escopo do tema da presente pesquisa. A fundamentação teórica será alicerçada pelas seguintes áreas de conhecimento: gestão da logística empresarial, gestão de armazenagem e tomada de decisão multicritério. Os conceitos serão apresentados em profundidade suficiente para o entendimento da pesquisa que será apresentada.

Seguinte à apresentação da fundamentação teórica serão retratadas as abordagens para solução do *forward reserve problem* e posteriormente a estruturação dos modelos que serão aplicados, a aplicação do modelo clássico B-FRP, *goal programming* e problemática de classificação, e para o fechamento serão apresentadas as considerações finais, conclusões da pesquisa, limitações e recomendações para trabalhos futuros. A Figura 3 mostra de forma resumida a estrutura do trabalho. As referências são apresentadas ao final das considerações, seguidas do apêndice.

Figura 3 – Estrutura do estudo.



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

## 2 CONCEITOS GERAIS

Neste capítulo da pesquisa, serão expostos conceitos, tipologias e políticas relacionadas com o tema central do estudo, visando integrar o leitor ao escopo do tema deste trabalho. A fundamentação teórica será alicerçada pelas seguintes áreas de conhecimento: gestão da logística empresarial, gestão de armazenagem e tomada de decisão multicritério.

### 2.1 Gestão da Logística Empresarial

De acordo com Ballou (2006), antigamente as mercadorias necessárias não eram feitas próximo ao local de consumo, então, em muitos momentos as comunidades não tinham disponíveis estes produtos durante boa parte do ano. As definições e o uso dos conceitos de logística são muito antigos, e foram empregados em sua origem, não somente em meios empresariais, mas também em guerras, visando um diferencial competitivo.

Nogueira (2012) apresenta um breve histórico de como ocorreu a evolução da logística e como os conceitos foram se moldando às diferentes necessidades de consumidores e empresários conforme o passar do tempo, tal como pode ser visto na Figura 4.



*Fonte: Adaptado de Nogueira (2012)*

De acordo com Sadjady; Davoudpour (2012) o contexto da gestão da cadeia de suprimentos, ou *Supply Chain Management* (SCM) foi introduzido em 1982 por Webber e Oliveira.

Com relação ao conceito e significado em si da palavra logística, e suas atribuições na cadeia de suprimentos, existem diversas definições e classificações.

Uma destas definições é conforme a *Council of Supply Chain Management Professionals* (2016) onde define logística como a parte da gestão da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla o funcionamento eficiente e eficaz, do fluxo e armazenagem de bens, serviços e informações relacionadas entre o ponto de origem e o ponto de consumo, a fim de atender aos requisitos dos clientes.

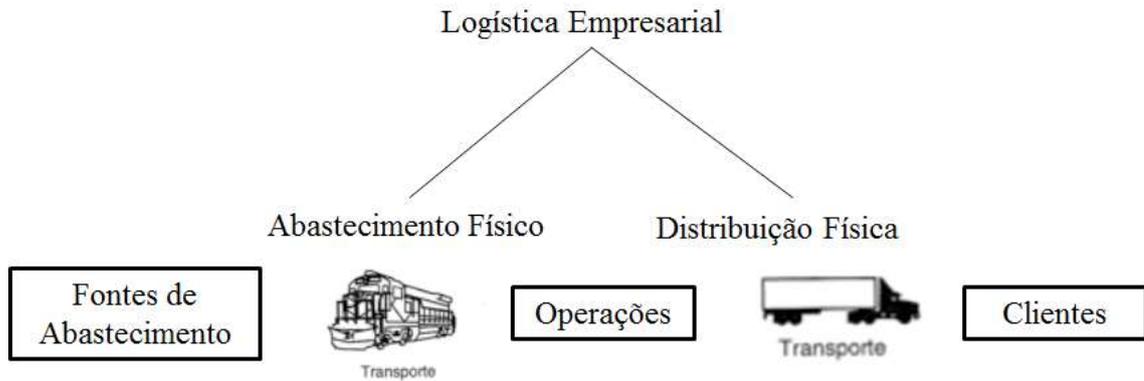
Para Christopher (2011) logística é o processo de gestão estratégica da aquisição, movimentação, armazenagem de materiais, peças e estoques finais (e o fluxo de informações relacionadas) por meio da organização e seus canais de comercialização, de tal forma que as rentabilidades atuais e futuras sejam maximizadas através da execução de pedidos, visando custo-benefício.

Logística é o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e economicamente eficaz de matérias-primas, estoque em processo, produtos acabados e informações relativas, desde o ponto de origem até o ponto consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes (BALLOU, 2006).

Diante de algumas definições de logística, é possível concluir que as atividades que compõem a logística são variáveis conforme a necessidade da organização, a estrutura organizacional, e da importância das atividades específicas para a operação. A Figura 5 ilustra como a logística empresarial está inserida nas organizações. A logística empresarial é composta por duas operações relevantes, abastecimento físico e distribuição física.

A distribuição e o abastecimento são desmembrados em atividades como: transporte (do fornecedor), manutenção de estoques, processamento de pedidos, compras, embalagem, armazenamento, controle de materiais, manutenção de informações e programação de suprimentos. Vale frisar que a complexidade do processo logístico está relacionada com características especificadas da operação e da organização.

Figura 5 – Composição das atividades logísticas.



Fonte: Adaptado de Ballou (2006).

É importante acentuar que as atividades logísticas trabalham alinhadas com as atividades de produção/operações e de marketing. Esta ligação é feita através de determinadas atividades como localização da fábrica e aquisições, para a interface produção-logística; e atividades de serviços padronizados ao cliente, precificação, embalagem e localização do varejo, para a interface marketing-logística.

Ainda com relação às atividades logísticas, para Bertaglia (2009) a cadeia logística está limitada a obtenção e movimentação de materiais e a distribuição física de produtos, onde os conceitos são apresentados da seguinte forma:

- A distribuição física consiste em: recebimento, armazenagem e expedição.
- Recebimento: inicia quando o veículo é liberado para descarregar um produto ou material que está destinado ao armazém ou centro de distribuição.
- Armazenagem: após o recebimento, os itens são armazenados em locais específicos no armazém, em prateleiras, estantes, tanques, estrados.

Bowersox e Closs (2001) afirmam que “o objetivo central da logística é atingir um nível desejado de serviço ao cliente, pelo menor custo total possível”. Outro critério que torna a logística uma importante atividade, é o fato de que os custos logísticos representam grande parte do custo total da empresa.

A estratégia operacional da logística é desenvolvida por três atividades: armazenar, transportar e distribuir. A soma dessas três atividades básicas e distintas, necessita de uma gestão integrada que forme o conjunto denominado: logística (CAXITO, 2011).

Em posse do conhecimento da definição de logística e de suas atividades relacionadas, uma atividade será vista com maior detalhe, a gestão da armazenagem, que devido aos grandes volumes de movimentação de produtos, reposições contínuas e alto custo associado

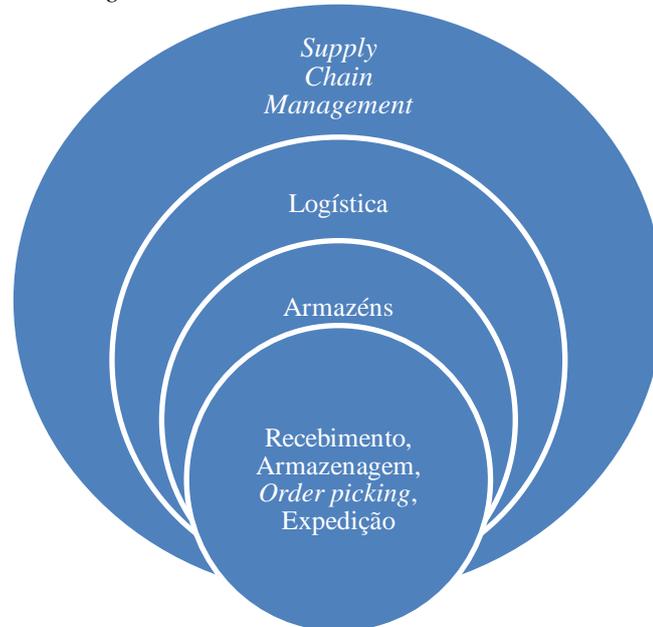
às operações de armazenagem, torna-se uma das atividades-chave entre as atividades das operações logísticas. O próximo item será focado no funcionamento das operações dentro do armazém, tipologias de sistemas de armazenagem, políticas de armazenamento.

## 2.2 Gestão da armazenagem

De acordo com Gu *et al.* (2010) as principais funções e atividades do armazém, são compreendidas pelas atividades de recebimento, armazenagem, *order picking* e expedição.

A gestão da armazenagem e suas atividades estão inseridas dentro do contexto das atividades logísticas, assim como as mesmas estão inseridas nas atividades da gestão da cadeia de suprimentos das organizações, a Figura 6 mostra como este relacionamento acontece.

Figura 6 – Relacionamento entre as atividades.



Fonte: Esta Pesquisa (2018).

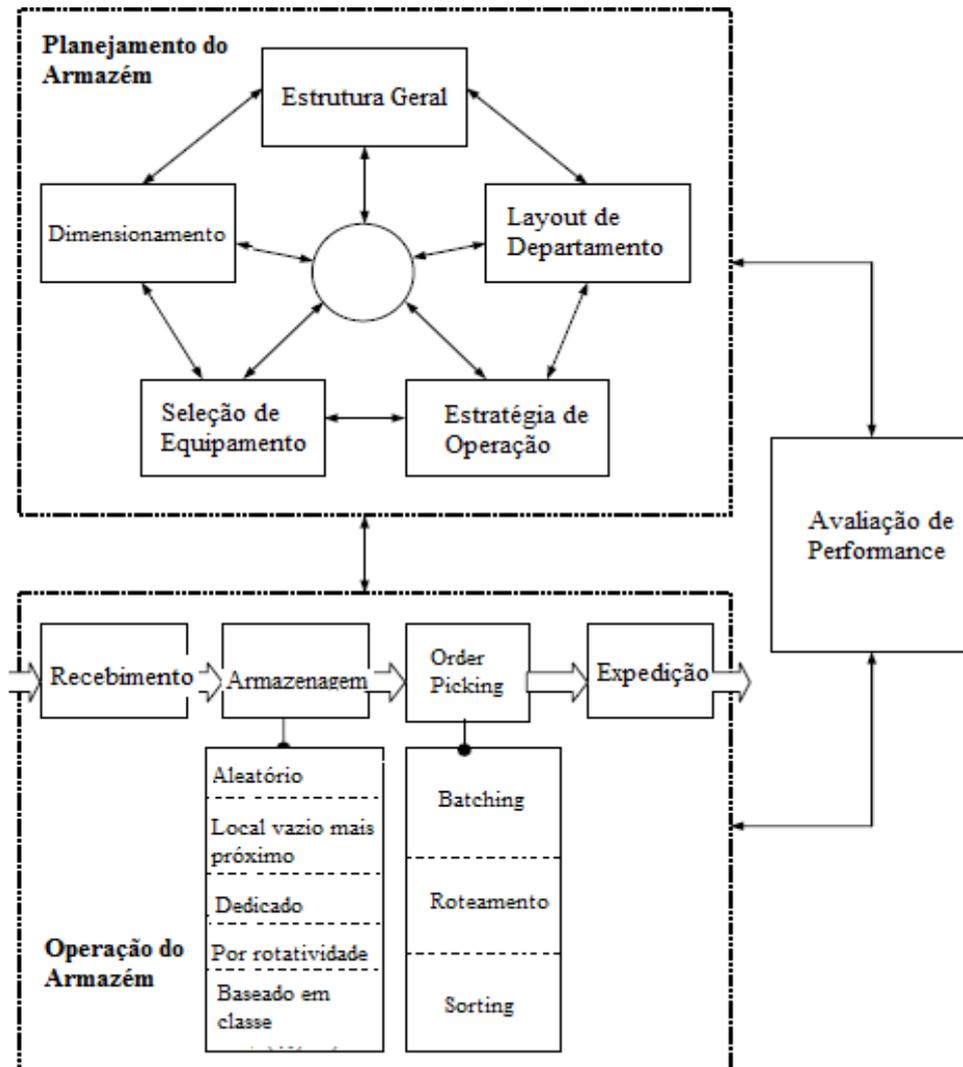
Segundo Bowersox et al. (2007) a finalidade de um armazém é a de contribuir para a eficiência da produção e da distribuição. Os desafios da gestão da armazenagem estão relacionados com diversos pontos, tais como: melhor aproveitamento do espaço, redução do tempo de *picking*, redução dos custos de armazenagem, entre outros.

Conforme Caxito (2011), diante das necessidades de respostas rápidas e reposições contínuas, a armazenagem ganha importância e destaque nas empresas, representando não mais a tradicional guarda de matérias-primas ou produtos acabados, mas sim uma função administrativa executada por meio de uma gestão estratégica de armazenagem.

Com o surgimento da gestão da cadeia de abastecimento, armazéns mudaram seu papel estratégico para atingir as metas logísticas, através da busca de menores tempos de ciclo do pedido, menor nível de inventário, menores custos e melhor serviço ao cliente (Hsu *et al.* 2005).

Atividades no armazém podem ser relacionadas com o seu planejamento ou com sua operação conforme Figura 7.

Figura 7 – Operação de um armazém.



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

Para De Koster et al. (2007) armazéns, aparentemente, formam uma importante parte do sistema de logística de uma empresa. Eles são comumente usados para armazenar ou estocar produtos (matérias-primas, produtos em processo, produtos acabados) entre pontos de origem e pontos de consumo.

O foco deste estudo será nas atividades da operação do armazém, que estão agrupadas

em: Recebimento, Armazenagem, *order-picking* e expedição.

Recebimento e expedição: Atividades de interface entre o fornecedor e os clientes, nas extremidades da operação do armazém são responsáveis pela inserção dos produtos dentro no armazém e sua respectiva retirada. O recebimento é a primeira operação dentro do depósito, momento em que os produtos são descarregados dos caminhões, ocorre a conferência de nota fiscal dos produtos, para em seguida serem estocados. Na outra extremidade da operação está a expedição, onde os produtos são direcionados aos clientes, na sua saída dos armazéns. Nesta atividade também há conferência de documentos relacionados às quantidades e informações inerentes aos produtos.

Armazenagem: O processo de guarda é feito no momento em que os produtos chegam ao armazém e são destinados aos locais adequados, onde ficaram aguardando sua recuperação, para que sejam encaminhados à expedição.

O processo de armazenagem pode ser feito através de diferentes políticas de alocação de produtos: aleatório, local vazio mais próximo, dedicado, por rotatividade, baseado em classe, entre outros.

*Order-picking*: Considerada por alguns autores como a atividade mais importante dentro do armazém, devido aos custos associados ao tempo de processamento bem como a utilização de recursos.

Consiste na seleção e coleta dos pedidos, conforme as listas de *picking*, ou também chamadas de ordem de pedidos.

Para Cormier & Gunn (1992) uma ordem consiste em um conjunto de itens pertencentes a uma entidade, por exemplo, um cliente ou um embarque, que deve ser recuperado do armazém.

Segundo Gademann *et al.* (2001) este processo pode envolver 60% de todas as atividades de trabalho em um armazém e pode ser responsável por até 65% de todas as despesas operacionais.

De posse das informações sobre as atividades que ocorrem dentro do armazém, e como os produtos fluem dentro do mesmo, no tópico seguinte, serão abordadas as diferentes tipologias do sistema de armazenagem.

### 2.1.1 Tipologias de sistema de armazenagem

A estrutura básica de um armazém é composta por uma série de corredores, geralmente paralelos, onde há divisões que geralmente são de uma altura padrão, com produtos armazenados lado a lado.

Há diversas formas de armazenagem de produtos, a configuração da armazenagem depende de características intrínsecas dos produtos, como dimensões, peso, perecibilidade, entre outras. Algumas formas de armazenagem são: caixotes, gavetas, prateleiras, paletes, racks, racks de fluxo de gravidade ou racks de armazenamento móvel.

Para efetivamente executar a armazenagem, dependendo das características dos produtos, são necessários alguns equipamentos de transporte para auxiliar a movimentação dos materiais durante o percurso que compõe as atividades de recebimento e armazenagem. Alguns equipamentos utilizados para transportar os produtos dentro do armazém podem ser:

Paletes ou estrados: tablados de madeira transportados por empilhadeira ou carrinho hidráulico

Contêineres: caixas de metal com portas

Gaiolas: armações de metal parecidas com uma caixa. Podem ser empilhadas

Caçambas: armações de metal parecidas com uma gaiola. Usadas para peças pequenas.

A utilização de equipamentos adequados para cada tipo de material a ser transportado pode contribuir para uma melhora na execução dessa tarefa; o manuseio ou a movimentação interna de produtos e materiais significa transportar pequenas quantidades de bens por distâncias relativamente pequenas. Alguns equipamentos: paleteira manual, paleteira elétrica, empilhadeira manual e empilhadeira elétrica.

De acordo com Frazelle (2001) dois elementos chaves da atividade logística consistem em operações de armazém eficientes e eficazes.

As tipologias apresentadas a seguir estão relacionadas com a configuração do funcionamento do armazém, se as atividades de armazenagem e de *picking* são desenvolvidas de forma manual, automatizada ou automática. Ainda não chegamos ao ponto de discussão onde serão abordadas as estratégias de armazenagem do ponto de vista de escolha dos locais de armazenamento dos produtos.

Com o conhecimento prévio do contexto apresentado até o momento, a seguir serão apresentados os diferentes formatos que a armazenagem pode ser executada no ambiente do armazém.

#### 2.1.1.1 Manual (*picker-to-product*)

Em um sistema de armazenagem manual, o coletor de pedido, chamado de *picker*, monta uma rota de veículo, conforme a localização dos produtos da lista. Para que ele possa coletar estes produtos, uma variedade de veículos é disponibilizada, como por exemplo: Carrinhos simples ou carrinhos containers para a coleta manual de artigos e máquinas de

coleta tanto horizontal quanto vertical, como empilhadeira e paleteira.

Uma ordem pode conter uma lista de quantidades de diferentes *stocking keeping units* - SKUs (cada SKU em uma ordem corresponde a um item exclusivo de suprimento). Duas abordagens fundamentais podem ser distinguidas em separação de pedidos manual: *single order-picking* e *batch-picking*.

A primeira abordagem indica que o *picker* é responsável pela colheita de uma ordem completa. A última abordagem indica que várias ordens são colhidas simultaneamente por um *picker*, que é normalmente restrito a uma determinada zona do armazém (zoneamento). *Batch-picking* reduz o tempo médio de viagem.

No entanto, ele exige que as ordens devem ser classificadas depois. O selecionador tanto pode classificar as ordens ao atravessar o armazém (*sort-while-pick*) ou os itens podem ser agrupados e classificados depois (*pick-and-sort*).

Para executar a estratégia de *sort-while-pick*, é necessário que o meio de transporte de coleta, tenha divisórias separadas para os produtos das diferentes ordens individuais. Outra estratégia de coleta de produtos manual é a *wave picking*, pode ser classificada como a junção entre *batching* e zoneamento, visto que ambas são aplicadas. A estratégia *wave picking* consiste em todos os *pickers* iniciem sua coleta, em determinadas zonas do armazém, e isto é feito simultaneamente. Ao final, quando todos os *pickers* concluem suas listas, então a segunda onda é iniciada.

#### 2.1.1.2 Automatizado (*product-to-picker*)

Segundo Bogue (2016) a *Amazon* foi pioneira no uso da robótica em seus armazéns para o comércio eletrônico com a utilização dos robôs Kiva. Em longo prazo, prevê-se que algumas funções, como embalagem do produto, também sejam conduzidas por robôs, levando a armazéns totalmente automatizados.

O sistema de armazenagem automatizado, ou *product-to-picker*, se refere ao sistema de armazenagem que o produto se movimenta em direção ao *picker*. Um exemplo de um sistema *product-to-picker* é um carrossel. Um carrossel é um sistema de armazenamento controlado por computador que é utilizado para armazenamento e separação de pedidos de produtos de pequeno a médio porte. Um carrossel pode armazenar muitos produtos diferentes em caixas ou gavetas que giram em torno de um circuito fechado. A Figura 8 ilustra um carrossel horizontal, composto por caixas, que funcionam para separar produtos de pequeno porte. A estrutura do carrossel permite que as prateleiras se movimentem, enquanto o *picker* ocupa uma posição fixa na frente do carrossel.

*Figura 8 – Exemplo de um carrossel.*



*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

Com a ordem de pedido em mãos o *picker* aguarda os produtos da lista, passarem por sua posição, e então faz a coleta. Enquanto o carrossel está em rotação, e não há produtos para serem coletados, o *picker* pode utilizar este tempo para classificar, embalar, rotular os produtos coletados.

Conforme Berg & Zijm (1999) em algumas situações o selecionador serve para dois ou quatro carrosséis em paralelo.

Os carrosséis podem ser configurados para rotação na horizontal ou na vertical, dependendo das características dos produtos que estão sendo armazenados.

O sistema de armazenamento e recuperação automatizado (AS/RS) é também um sistema de *product-to-picker*.

AS/RS consiste de um ou vários corredores paralelos com dois *racks* de paletes ao lado de cada corredor. Entre os corredores se desloca a máquina de armazenagem/recuperação (S/R), também chamado de transelevador automático. A máquina S/R viaja sobre carris que são montados do teto ao chão. Em uma configuração padrão, a máquina S/R pode transportar no máximo um palete por vez. A movimentação da máquina acontece na horizontal e na vertical, para que seja possível buscar os paletes em determinadas alturas e diferentes sentidos do armazém.

A *miniload* AS/RS é uma AS/RS que é projetada para a colheita de armazenamento e despacho de pequenos itens, compartimentos de armazenagem bem menores do que os paletes, em gavetas ou em caixas. A maneira como será feita a subdivisão dos produtos é variada, podendo em cada compartimento conter um SKU específico.

### 2.1.1.3 Automático

Sistemas de separação de pedidos automáticos executam o *picking* em alta velocidade em itens de tamanho médio ou pequeno, não frágeis, com tamanho e forma uniforme. Alguns exemplos de produtos que podem ser armazenados de forma automática: livros, produtos farmacêuticos, entre outros.

O sistema automático, não conta com a intervenção humana, ou seja, no sistema automatizado, caso o *picker* seja substituído por um robô, o sistema é agora automático, conforme mostrado na Figura 9. No caso de um carrossel e um robô trabalhando juntos.

Há máquinas de dispensa automática de produtos, no qual é anulada a necessidade de um *picker*.

Figura 9 – Máquina de dispensa automática de produtos.



Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Há produtos dispostos na máquina em ambos os lados da “correia”, nas estruturas cinza nas laterais da imagem. Cada divisão da máquina possui um mecanismo motorizado que dispensa automaticamente itens para dentro da “correia” onde estão localizadas as células de coleta. Cada pedido é atribuído uma determinada seção sobre as células de coleta. Quando a célula passa, pela localização que contém um item solicitado pelo correspondente, o item é automaticamente dispensado sobre a célula de passagem. No final da correia transportadora os itens pertencentes à mesma ordem caem em uma caixa ou embalagem.

Foram abordados três diferentes formatos de sistema de armazenagem. A escolha de qual é mais apropriado, depende das peculiaridades da operação que a organização requer. Estes formatos são opções disponíveis para que as organizações busquem otimizar seus processos e melhorar o desempenho das atividades que ocorrem no armazém.

Conforme Nogueira (2012) um armazém com seus processos otimizados e alinhados, proporciona:

- Máxima utilização do espaço (ocupação do espaço)
- Efetiva utilização de recursos disponíveis (mão de obra e equipamentos)
- Pronto acesso a todos os itens (seletividade)
- Máxima proteção aos itens estocados
- Boa organização
- Satisfação das necessidades dos clientes.

De acordo com Petersen & Aase (2004) dentro do ambiente da gestão de armazenagem existem três decisões principais que devem ser analisadas:

1. Como armazenar os SKUs (política de alocação)
2. Como recuperar os SKUs (estratégia de *order-picking*)
3. Como definir o as rotas dos *pickers* (política de roteamento)

Neste sentido na seção seguinte veremos as diferentes formas de armazenar os SKU's, ou seja, as políticas de alocação.

#### 2.1.2 Políticas de armazenamento – Métodos de alocação de produtos.

Conforme De Koster *et al.* (2007) os produtos precisam ser colocados em locais de armazenamento antes que eles sejam inseridos nas ordens de pedido, para que sejam destinados aos clientes. Uma política de alocação de armazenamento é um conjunto de regras que pode ser usada para designar produtos para locais de armazenamento.

Segundo Scholl & Deuse (2010) nas cadeias de abastecimento moderno, processos de armazenamento eficazes e eficientes são importantes para satisfazer os clientes dentro de um tempo curto, aos mais baixos custos possíveis para os consumidores.

De acordo com Gu *et al.* (2007) dentro de um departamento/zona, os produtos são atribuídos para locais de guarda e a atribuição deste local de estocagem tem um impacto significativo na capacidade de armazenamento, controle de estoque e separação de pedidos.

Para De Koster *et al.* (2007) dentre estas estratégias de armazenagem, ou alocação de produtos, podem ser utilizadas: estratégia de armazenamento aleatório, baseado em classe, armazenamento dedicado, armazenagem por família de produtos.

- ✓ Armazenamento aleatório (*random storage*)

De acordo com Petersen (1997) no armazenamento aleatório, para cada palete ou quantidade de produtos recebidos no armazém é atribuído um local no armazém que é

selecionado aleatoriamente a partir de todos os locais vazios elegíveis com igual probabilidade.

A política mais simples de ser implementada, pela facilidade em alocar os produtos nos locais vazios conforme disponibilidade, apresentando a vantagem de maior utilização do espaço e diminuição do fluxo de *pickers* nos corredores do armazém, sua desvantagem também será latente no sentido de aumentar o tempo de viagem para a coleta.

De Koster *et al.* (2007) ressalta que esta estratégia funciona apenas em ambiente controlado por computador.

- ✓ Armazenamento baseado local vazio mais próximo (*closest open location storage*)

O local vazio mais próximo encontrado pelo colaborador será o local onde o produto será armazenado. Tem desempenho semelhante ao armazenamento aleatório.

- ✓ Armazenamento baseado em classe

O conceito de armazenamento baseadas em classe consiste em uma forma clássica para dividir itens em classes com base na popularidade, utilizando o método de Pareto.

De acordo com De Koster *et al.* (2007) a ideia é agrupar produtos em classes, de tal forma que a classe de movimento mais rápido contém apenas cerca de 15% de os produtos armazenados, mas contribui para cerca de 85% da rotatividade.

Cada classe é então atribuída a uma área dedicada do armazém, e a alocação dos produtos de mesma classe, dentro desta área é feita de maneira aleatória. Um índice que pode ser utilizado para a procura dos produtos é o COI (*cube-per-order*). Os itens com maior saída são alocados como itens A os B são os itens com saída intermediária, e os com rotatividade menor são os itens classificados como C.

- ✓ Armazenamento dedicado (*dedicated storage*)

Conforme Cormier & Gunn (1992) em uma política de armazenamento dedicado, um conjunto de locais de armazenamento é reservado para cada produto conforme o horizonte de planejamento dos recebimentos. Além disso, uma vez que é dada prioridade a determinado produto, todas as unidades deste produto, são atribuídas às localizações consecutivas no armazém.

Segundo De Koster *et al.* (2007) uma desvantagem de armazenamento dedicado que é uma localização é reservada mesmo para os produtos que estão fora de estoque, desta forma a utilização do espaço fica comprometida, e é considerada a menor entre todas as demais estratégias de alocação de produtos, em contrapartida, sua vantagem é que os *pickers* ficam familiarizados com as localizações dos produtos no armazém.

Esta estratégia pode ser útil para produtos que têm pesos diferentes, no tocante de produtos pesados ficam localizados nas estantes inferiores, ou seja, mais baixas e os produtos mais leves, nas áreas mais altas.

✓ Armazenamento por rotatividade (*full turn over storage*)

Baseado no tempo que o produto fica dentro do armazém, ou seja, aqueles produtos com alta rotatividade ficam mais bem localizados, em áreas de fácil acesso para o *picker*.

De Koster et al. (2007) apresenta ainda no escopo das políticas de armazenagem mais duas abordagens. O armazenamento – por família de produtos (*Family grouping*) onde a estratégia de alocação de produtos considera que o pedido de um produto, pode ter correlação com outro produto. Na maioria das vezes, que se determinado produto aparece na ordem de pedido, outro tipo de produto também aparece. Essa estratégia leva em consideração essa ocorrência para alocar esses produtos em locais próximos, visando à coleta mais rápida no momento em que o *picker* for coletar estes itens. Ou seja, produtos similares são alocados em lugares próximos, ou na mesma região do armazém. Para aplicar essa estratégia é interessante utilizar a correlação estatística entre os itens, observando a frequência que eles aparecerem juntos na ordem de pedido.

A outra abordagem acerca de alocação de produtos é a possibilidade dividir o armazém em duas áreas, conhecidas como área da frente (*forward area*) e área de reserva (*reserve area*). O objetivo desta divisão é acelerar o processo de *picking* dos produtos. Algumas decisões acerca desta abordagem são: a quantidade de produtos que ficarão na área da frente; que produtos serão esses e onde será localizada esta área. Estas questões são conhecidas como FRP e serão abordadas em maiores detalhes em seções posteriores.

### **2.3 Warehousing Policies, Storage Location Assignment e Warehousing Systems: Revisão Bibliográfica**

A logística e seus conceitos começaram a ser inseridos no mercado o no ambiente competitivo há certo tempo. A evolução de seus conceitos, e surgimento de novas práticas nos encaminha em direção às pesquisas, objetivando o conhecimento do que está sendo desenvolvido para ser aplicado na prática.

Para o escopo desta pesquisa, foram delimitados os conceitos que seriam abordados neste estudo, neste sentido serão analisados: *Warehousing Policies, Storage Location Assignment e Warehousing Systems*.

O objetivo desta seção é apresentar quais as aplicações e estudos recentes destinados à estas áreas, bem como buscar identificar novas práticas e aplicações relevantes sobre o tema. O estudo foi feito alicerçado por buscas em base de dados conceituados no meio acadêmico, e utilizando vários filtros visando obter as melhores análises e resultados.

Esta parte da pesquisa consiste em apresentar os artigos mais citados nos últimos cinco anos, o histórico de citações por ano, e um breve comentário sobre os artigos, buscando apresentar o seu núcleo, e qual o diferencial e relevância deste para que esteja entre os artigos mais citados.

Desta forma é possível analisar: as pesquisas mais citadas, e as mais citadas entre as mais recentes, a evolução do número de citações e quais os artigos mais estudados em cada tema.

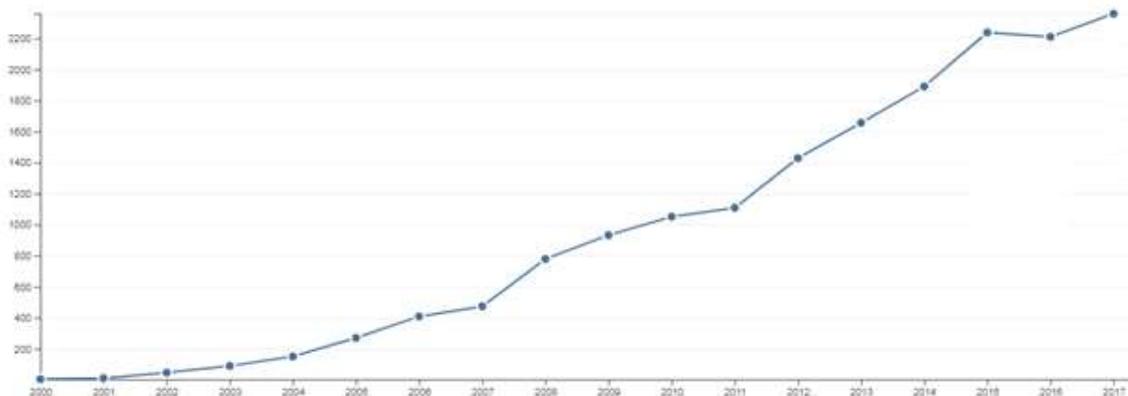
O objetivo desta análise é identificar o potencial dos assuntos no tocante ao volume de pesquisas que estão sendo publicadas.

### 2.3.1 Warehousing Systems

No tocante as pesquisas que estão sendo desenvolvidas atualmente sobre os temas tratados até o momento, seguem abaixo alguns dados que retratam a relevância dos temas, assim como revela os artigos mais citados entre os assuntos abordados.

O primeiro tema a ser pesquisado foi com relação ao termo: *Warehousing Systems*, sistemas de armazenagem. Ressaltando que as pesquisas sempre foram focadas nas áreas de engenharia e pesquisa operacional. A Figura 10, que mostra o gráfico de citações por ano, ressalta o número de citações de artigos que abordam este tema, no decorrer dos anos.

Figura 10 – Gráfico de citações por ano.



Fonte: Web of Science (2018)

É possível notar um crescimento no número de citações no decorrer dos anos, evidenciando a relevância de pesquisar este tema.

Na Tabela 1, constam as informações sobre os artigos mais citados, conforme a média de citações por ano. Ressaltando que, neste momento, não houve filtros com relação aos anos, ou seja, constam informações desde o ano de publicação de todos os artigos. Serão apresentados os cinco artigos com a maior média de citações por ano.

*Tabela 1 – Média de citações por artigo*

Título	Autores	Citações por ano						Média de citações por ano
		2013	2014	2015	2016	2017	Total	
Todos os artigos sobre o tema		1967	2224	2575	2516	2650	23494	489.46
<i>Facility location and Supply Chain Management : A comprehensive review</i>	Melo <i>et al.</i> (2007)	77	87	80	99	94	576	64.00
<i>Past, present, and future of decision support technology</i>	Shim <i>et al.</i> (2002)	30	44	41	41	25	470	29.38
<i>Design and control of warehouse order picking: A literature review</i>	de Koster, Rene; Le-Duc, Tho; Roodbergen, Kees Jan (2007)	35	44	59	48	62	343	31.18
<i>Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review</i>	Erenguç <i>et al.</i> (1999)	22	12	17	12	11	307	16.16
<i>Agent-oriented supply-chain management</i>	Fox <i>et al.</i> (2000)	12	7	7	13	3	277	15.39

*Fonte: Web of Science (2018)*

Devido ao tema ser bastante relevante em diversas áreas, os artigos mais citados abordam diferentes perspectivas acerca do tema de gestão de armazenagem.

Na pesquisa de Melo *et al.* (2007) o foco foi abordar a questão da localização do armazém e sua importância para a gestão da cadeia de suprimentos. Eles também apresentaram contribuições no escopo da estrutura da cadeia de abastecimento, incluindo a logística reversa. Forneceram também, neste contexto, medidas de desempenho e técnicas de otimização.

Shim *et al.* (2002) apresentam no artigo a evolução das tecnologias dos sistemas de suporte à decisão e questões relacionadas à definição, aplicação e impacto desses sistemas. Em seguida, apresenta quatro poderosas ferramentas de suporte à decisão, incluindo *data warehouses*, OLAP, *Data Mining* e *Web-based DSS*. São apresentadas questões no campo de sistemas de suporte colaborativo e equipes virtuais.

De Koster *et al.* (2007) fornecem uma visão geral da literatura sobre problemas típicos de decisão no projeto e controle de processos de *order-picking*. Concentraram-se no design de layout ótimo, métodos de alocação no armazém, métodos de roteamento, incubação de ordens e zoneamento. Identificaram que, recentemente, a pesquisa nesta área cresceu rapidamente.

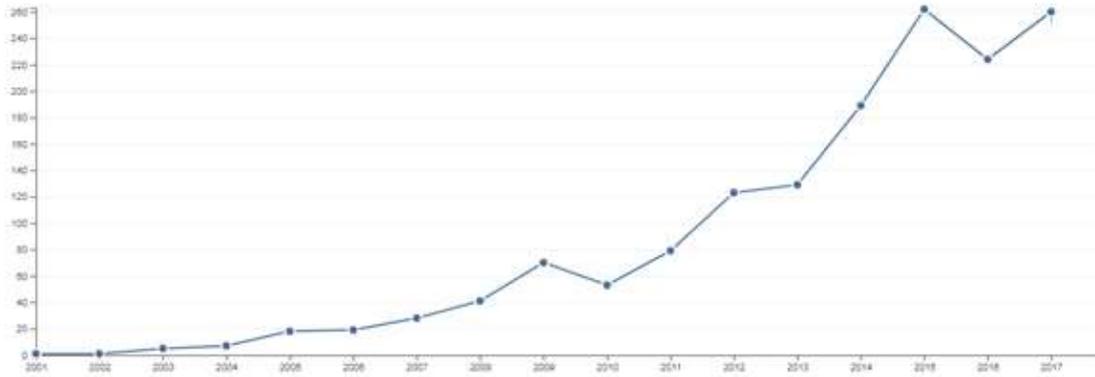
Erenguç *et al.* (1999) estudaram o tema através do planejamento da produção e da distribuição de forma integrada na cadeia de suprimentos através de uma revisão dos conceitos. O foco é na gestão da cadeia de suprimentos, mostrando os impactos das atividades na cadeia como um todo e focando nas decisões estratégicas como, por exemplo, como será a rede de distribuição.

De acordo com Fox *et al.* (2000) a cadeia de suprimentos é uma rede mundial de fornecedores, fábricas, armazéns, centros de distribuição e varejistas através das quais matérias-primas são adquiridas, transformadas e entregues para os clientes. A gestão da cadeia de abastecimento é a decisão estratégica, tática e operacional tomada, que otimiza o desempenho da cadeia de fornecimento, e neste estudo a gestão de cadeia de abastecimento é feita considerando uma arquitetura de softwares, através de agentes inteligentes.

### 2.3.2 Storage Location Assignment

O mesmo levantamento foi feito para o termo *Storage Location Assignment*. Sem especificar o período da pesquisa, assim como refinando os resultados somente para as áreas de engenharia e pesquisa operacional. Os resultados obtidos da análise seguem abaixo.

Figura 11 – Gráfico de citações por ano.



Fonte: Web of Science (2018)

Na Figura 11 é possível identificar o aumento de número de citações por ano, com um pico expressivo em 2015 e 2017. Os dados apresentados na Tabela 2 mostram os artigos publicados que obtiveram mais citações desde suas publicações.

Tabela 2 – Média de citações por artigo

Título	Autores	Citações por ano						Média de citações por ano
		2013	2014	2015	2016	2017	Total	
Todos os artigos sobre o tema		157	219	316	258	306	2090	90.87
<i>Design and control of warehouse order picking: A literature review</i>	De Koster <i>et al.</i> (2007)	35	44	59	48	62	59	31.18
<i>A survey of literature on automated storage and Retrieval systems</i>	Roodbergen (2009)	10	16	30	20	24	30	15.11
<i>A literature survey on planning and control of Warehousing Systems</i>	Berg & Zijm (1999)	6	5	8	10	5	8	5.79
<i>A multiple-crane-constrained scheduling problem in a container terminal</i>	Bish (2003)	9	9	12	6	3	12	6.47
<i>Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems</i>	Caron <i>et al.</i> (1998)	4	3	8	6	12	8	4.20

Fonte: Web of Science (2018)

O estudo de De Koster *et al.* (2007) aborda aspectos relacionados à separação de pedidos, *order picking*. Ressaltando que aproximadamente 55% das despesas total de um armazém tem ligação com a atividade de escolha de pedidos, o estudo apresenta uma série de problemas de decisão relacionados com a atividade de *order picking*, e enfatiza seu impacto em toda a cadeia de suprimentos, caso esta atividade trabalhe com baixa *performance*.

Roodbergen (2009) apresentou uma revisão de literatura sobre o sistema de armazenamento e recuperação automatizado (AS/RS). Foram feitas explicações sobre configuração do sistema, tempo médio de viagem, como atribuir o local de armazenamento, entre outros aspectos. As conclusões apresentadas ressaltaram que a maioria dos métodos de solução eram aplicáveis em problemas estáticos, porém os problemas de natureza dinâmica estavam surgindo com maior força, e exigindo tempos computacionais maiores e horizontes de planejamento finitos, para melhorar o desempenho dos modelos.

Berg & Zijm (1999) em uma revisão de literatura abordam conceitos e tipologias relacionadas ao planejamento e controle de sistemas de armazenagem. A classificação de armazéns abordada nesta pesquisa foi conforme classificação destes autores. Berg & Zijm (1999) classificam os armazéns como *picker-to-product systems*, ou armazém manual; *product-to-picker systems*, armazém automatizado; e o *picker-less systems*, quando o armazém utiliza somente robôs e pode ser considerado automático. O artigo ainda apresenta abordagens quanto às decisões na gestão de armazéns, quanto a decisões estratégicas, táticas e operacionais. No tocante ao planejamento das operações do armazém, o estudo apresenta o conceito de área da frente e área de trás, no quesito de como os produtos serão alocados no armazém. O controle das operações do armazém também é considerado nesta revisão de literatura.

O estudo de Bish (2003) é específico e trata do problema de determinar um local de armazenagem para contêineres, visando minimizar o tempo para atendimento dos navios. A solução apresentada foi desenvolver um algoritmo heurístico baseado no problema do transbordo.

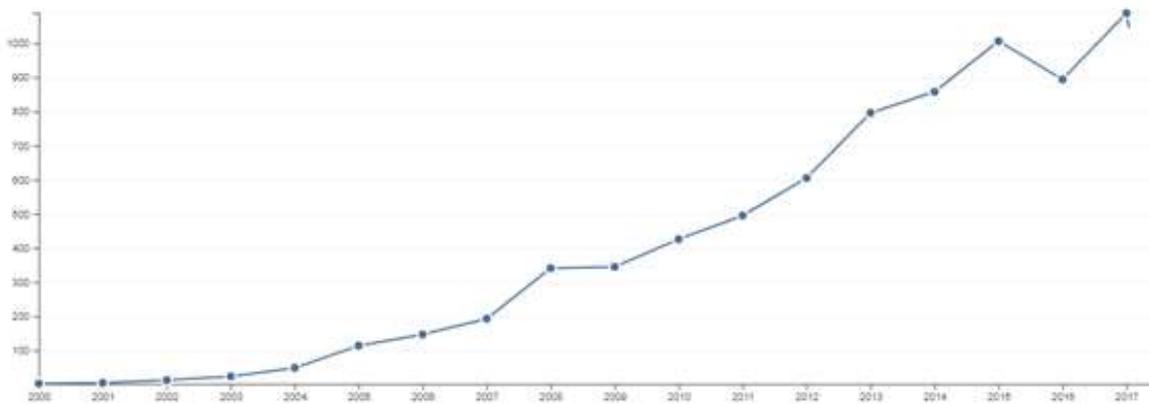
O último artigo a ser analisado é o de Caron *et al.* (1998). Neste estudo é feita à avaliação e comparação de duas estratégias de *picking*, chamadas de política transversal e de retorno, e compra com outras políticas baseadas no COI, que representam a proporção entre o espaço exigido para armazenagem e a frequência que o item aparece na lista de *picking*. Esta análise é restrita para sistemas chamados de *low-level*, voltada para produtos de dimensão

pequena, onde são armazenados geralmente em prateleiras e o *picker* consegue concluir a lista de pedidos, em uma viagem.

### 2.3.3 Warehousing Policies

Finalmente, na última pesquisa sobre termos relacionados somente com gestão de armazéns, foi pesquisado o termo *Warehousing Policies*, visando identificar os artigos mais citados com relação às políticas de armazenagem. Os resultados encontrados na Figura 12.

Figura 12 – Gráfico de citações por ano.



Fonte: Web of Science (2018)

Com relação ao comportamento das citações durante os anos, a tendência crescente se repetiu. Evidenciando o um aumento expressivo nos últimos anos.

Os dados apresentados na Tabela 3 mostram os artigos publicados que obtiveram mais citações desde suas publicações.

Tabela 3 – Média de citações por artigos

Título	Autores	Citações por ano						Média de citações por ano
		2013	2014	2015	2016	2017	Total	
Todos os artigos sobre o tema		967	1168	1028	1168	1050	1221	320,76
<i>Design and control of warehouse order picking: A literature review</i>	De Koster <i>et al.</i> (2007)	35	44	59	48	62	343	31,18
<i>Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review</i>	Erenguç <i>et al.</i> (1999)	22	12	17	12	11	307	16,16
<i>Warehouse design and control:</i>	Rouwenhorst	17	16	23	16	23	200	11,11

<i>framework and literature review</i>	(2000)							
<i>A review of integrated analysis of production-distribution systems</i>	Sarmiento & Nagi (1999)	16	15	11	14	8	186	9,79
<i>Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review</i>	Gu <i>et al.</i> (2010)	20	13	33	21	39	144	18

Fonte: Web of Science (2018)

A revisão de literatura apresentada por De Koster *et al.* (2007) é recorrente nesta análise.

O artigo mais citado de Erenguç *et al.* (1999), no tocante ao tema de políticas de armazenagem, já foi devidamente apresentado neste estudo.

Rouwenhorst (2000) mostra uma revisão de literatura acerca de estruturação interna do armazém, chamado de design do armazém que engloba aspectos de: conceito, especificações técnicas, equipamento, *layout*, e seleção de políticas de planejamento e controle das operações do armazém. Apresenta também como as decisões relacionadas ao armazém se apresentam nos níveis estratégico, tático e operacional das organizações.

Sarmiento & Nagi (1999) retratam uma análise integrada entre os sistemas de distribuição e de produção, buscando verificar uma lacuna nas pesquisas visando identificar possíveis assuntos que necessitam de um aprofundamento de estudo, focando também em uma otimização simultânea, no tocante aos sistemas de produção e de distribuição. As questões centrais do estudo são: como os aspectos logísticos foram englobados de forma integrada com aspectos de produção; como esta integração trouxe vantagem competitiva para as organizações que alinharam a produção e a distribuição, como esta vantagem competitiva se deu em diferentes organizações, sem deixar de analisar como esta integração ocorreu no escopo estratégico e tático das organizações.

Gu *et al.* (2010) apresentaram um levantamento detalhado da pesquisa sobre design de armazém, avaliação de desempenho, estudos de caso práticos e ferramentas de suporte computacional. Esta pesquisa ofereceu uma visão abrangente sobre a operação em armazém e fornecem uma revisão abrangente dos resultados existentes da pesquisa acadêmica no quadro de uma classificação sistemática.

## 2.4 Síntese Conclusiva

O presente capítulo apresentou conceitos básicos sobre a gestão de armazéns e as aplicações e estudos recentes destinados às áreas relacionadas com alocação de produtos,

sistemas de armazenagem e políticas de armazenagem. Identificou novas práticas e aplicações relevantes sobre o tema, através da coleta de dados em bases científicas, identificando quais políticas de alocação estão sendo aplicadas e estudadas atualmente, assim como quais os autores que estão publicando nesta esfera.

### 3 ABORDAGENS PARA SOLUÇÃO DO FORWARD RESERVE PROBLEM (FRP)

Em posse das informações contidas no capítulo anterior, é possível identificar um hiato nos estudos relacionados à alocação de produtos em armazéns. A abordagem FRP, apesar de ser presente neste âmbito, apresenta algumas lacunas passíveis de estudos, visando tornar a formulação do problema adaptável a situações reais. Neste capítulo serão apresentados conceitos intrínsecos do FRP, *Goal programming* e Modelos de apoio à decisão multicritério. As definições abordadas serão de extrema importância para o entendimento das simulações futuras.

#### 3.1 Forward reserve problem (FRP)

Hackman & Rosenblatt (1990) propuseram um modelo matemático para o problema de alocação chamado de FRP. O modelo é caracterizado por dividir um armazém em duas áreas, onde determinados SKUs são alocados na área da frente (FA) e os demais são destinados à área de trás (RA), e conforme vai ocorrendo à saída dos produtos da área da frente, estes são repostos.

De acordo com Frazelle (1994) o FRP surge em uma variedade de armazéns. Por exemplo, a FA pode ser o nível do mais próximo do solo do palete de em palete convencional, a paletização das unidades de cargas unitárias, carrosséis horizontais ou verticais para itens pequenos, ou mesmo máquinas de distribuição automatizadas para filmes, cosméticos e outros tipos de produtos.

A finalidade da FA é reduzir o custo com a atividade de *picking*, visto que o custo para coletar os produtos na RA é bem mais alto. Desta forma também será reduzido o tempo de coleta dos produtos.

O problema é composto de um conjunto de variáveis inteiras que indicam se um ou mais SKUs são atribuídos ou não à área da frente e um conjunto de variáveis contínuas que indicam a quantidade de espaço alocado para cada SKU atribuído à área da frente, ou seja, informam quais produtos ficarão na área da frente e as suas respectivas quantidades. O objetivo é maximizar o benefício total da área da frente, isto é, a economia total na separação de pedidos com menor custo total de reposição. O modelo é similar ao problema da mochila clássico, com a diferença de que ele tem uma função objetivo não linear que é descontínua em zero.

Hackman & Rosenblatt (1990) descreveram algumas nomenclaturas e definições para orientar esta problemática. A alocação de produtos na área da frente seria designada de alocação primária, e os demais alocados na área de trás, de alocação secundária. A ação de levar produtos na área de trás para a área da frente é chamado de reposição simultânea, quando acontece durante o período de *picking*, esta ação será feita apenas quando o estoque da área da frente de determinado SKU for igual à zero.

O modelo foi desenvolvido com os seguintes parâmetros:

$e_i$  = economia por pedido se o produto está alocado na area da frente

$c_i$  = custo de reposição para o item  $i$

$R_i$  = número de pedidos por unidade de tempo para o item  $i$

$D_i$  = demanda por unidade de tempo para o item  $i$  convertido em unidades de volume

$N$  = número de itens no armazém

$V$  = Volume da area da frente

Variáveis:

$z_i$  = volume da area da frente atribuído ao item  $i$

$x_i$  = variável binária que determina se o item  $i$  está destinado a area da frente

O modelo por ser descrito conforme equação (1).

$$\begin{aligned} \max \sum_{i=1}^N f_i(z_i) \\ \text{sujeito a: } \begin{cases} \sum_{i=1}^N z_i \leq V \\ z_i \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

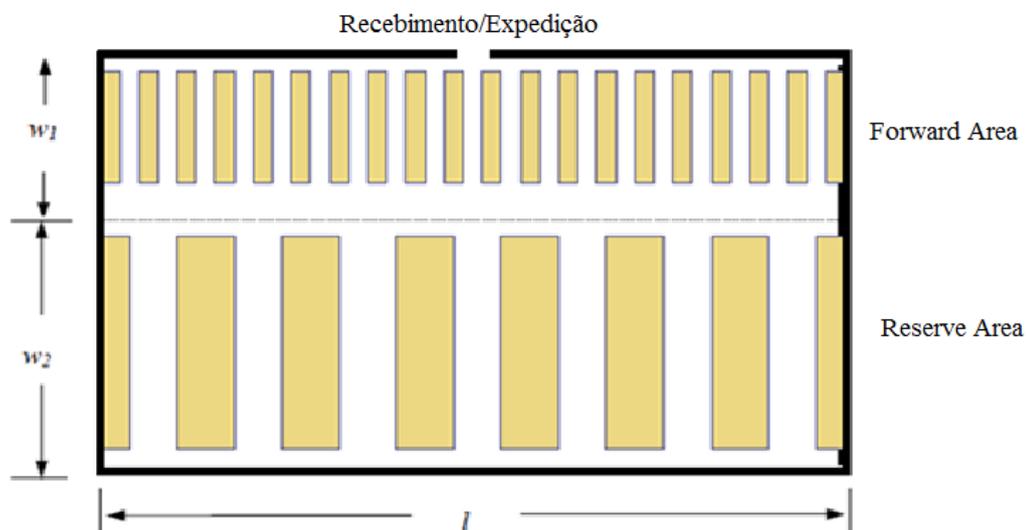
Os mesmos autores (1990) propõem uma heurística para resolver o problema de alocação de FRP com base em um índice que classifica SKUs para serem colocados na área da frente.

A pesquisa de Hackman & Rosenblatt (1990) foi utilizada para simulação à quantidade de 2000 itens com quantidade de pedidos variáveis, onde foram divididos em quatro grupos, e estes receberam determinadas quantidades de pedidos, de forma que os 500 primeiros itens receberam entre 51-569 pedidos, o outro bloco de 500 itens, recebem 37-51 pedidos e o terceiro bloco receberam de 30-37 pedidos e o último bloco de 21-30 pedidos, para esta aplicação do modelo foi utilizado dados da *Naval Supply Center* (NSC).

Segundo Berg & Zijm (1999) o FRP foi modelado com uma função objetivo de minimizar os custos envolvidos na atividade de *picking*, atividade esta que representa o maior percentual de custos ligados à atividade de armazenagem, conforme já foi mostrado nesta pesquisa.

Visando elucidar melhor sobre o FRP, segue abaixo a Figura 13, que conforme Gu (2005) é uma maneira de organizar o armazém para que os produtos possam ser alocados em áreas diferentes. Neste caso a área representada por  $w_2l$  é a área destinada, e  $w_1l$  é a *forward area*.

Figura 13 – Layout Armazém com FA e RA.



Fonte: Adaptado de Gu (2005)

Para os autores Berg & Zijm (1999) uma das configurações conhecidas para o modelo FRP é um *rack* de armazenamento onde os níveis mais baixos são usados para o *order-picking* manual (área da frente) e os níveis mais elevados contêm a *reserve area*.

Para Frazelle (1994) um *layout* típico da área da frente é organizada com prateleiras e com *racks* de fluxo de gravidade dispostos em corredores. Já o *layout* da *reserve area* é organizado com paletes nos corredores, acessados através de empilhadeiras.

Bartholdi & Hackman (2008) consideram a área designada como área da frente, um espaço no qual os *pickers* podem rapidamente localizar os produtos, e após sua retirada, são repostos por produtos alocados anteriormente na área de reserva.

Antes de discorrer acerca do problema a ser abordado neste estudo é importante apresentar algumas premissas relacionadas com o FRP, de modo que maximize a utilização do espaço disponível no armazém. De acordo com Berg (1999) as premissas são:

1. A disposição e a capacidade de armazenamento das duas áreas (FA e RA) são conhecidas. O total da capacidade de armazenamento é grande o suficiente para manter todas as unidades disponíveis.
2. Se um produto for atribuído a FA, todos os *picks* deste produto serão desta área.
3. Se um produto for atribuído a FA, então sua quantidade mínima é de uma unidade de carga.
4. O tempo entre os períodos de *picking* são suficientes para reabastecer a FA.
5. Reabastecimentos simultâneos são realizados no período de *picking*.
6. Reabastecimentos simultâneos não causam congestionamento no processo de *order picking*
7. O tempo médio de *picking* da FA, da RA e do reabastecimento simultâneo é conhecido.
8. Estimativas do número de *pickings* e a distribuição de probabilidade do número necessário de cargas unitárias (demanda) durante o período de *picking* são dadas para cada produto (a demanda será conhecida).

No tocante a este tipo de problema, onde o armazém é dividido em duas áreas, o questionamento que surge é: quais produtos alocar na área da frente e em quais quantidades? O objetivo é minimizar os custos totais, considerando a atividade de *picking* e reposição, também chamada de reabastecimento.

A modelagem do problema que será utilizada neste estudo será baseada na adaptação feita por Berg & Zijm (1999) no qual o FRP é estruturado como um problema de programação linear binário, e passa a ser denominado B-FRP.

No B-FRP, o objetivo é calcular as quantidades de produtos alocados na área da frente buscando minimizar o tempo de coleta dos produtos em uma janela de tempo, chamado de período de *picking*.

As seguintes definições abaixo são consideradas:

$m_i$  = número de unidades disponíveis do produto  $i$ ,  $i = 1, \dots, N$ .

$V$  = locais de armazenagem disponíveis na área da frente

$T^{pf}$  = Tempo médio de *picking* da área da frente

$T^{pr}$  = Tempo médio de *picking* da área de trás ( $T^{pr} > T^{pf}$ )

$T^{cr}$  = Tempo médio de reposição

As seguintes variáveis de decisão são definidas  $x_i$  com  $i = 1, \dots, N$  e  $y_{ij}$  com  $j = 1, \dots, m_i$ .

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{Se } i \text{ foi alocado na FA} \\ 0, & \text{Caso contrário} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Se a } j - \text{ésima unidade do produto } i \\ & \text{foi repostado na FA durante o período de picking} \\ 0, & \text{Caso contrário} \end{cases}$$

Desta forma é apresentada a formulação para a equação (2)

$$\text{Min} \sum_{i=1}^N \left\{ T^{pf} p_i x_i + T^{pr} p_i (1 - x_i) + T^{cr} \left( u_i x_i - \sum_{j=2}^{m_i} u_{ij} y_{ij} \right) \right\}$$

Sujeito a

$$\sum_{i=1}^N v_i \left( x_i + \sum_{j=2}^{m_i} y_{ij} \right) \leq V \quad (2)$$

$$y_{i2} \leq x_i, \quad i = 1, \dots, N$$

$$y_{ij} \leq y_{i(j-1)} \quad i = 1, \dots, N, j = 3, \dots, m_i$$

$$x_i \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, N$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, N, j = 3, \dots, m_i$$

A primeira restrição está relacionada com a capacidade da área da frente, desta forma a quantidade de produtos que podem ser alocados na FA está restrita à sua capacidade.

As duas restrições seguintes são relacionadas com a reposição dos produtos, que podem acontecer somente se eles foram destinados a FA, ou seja, haverá reposição somente se o produto for destinado a FA. As últimas restrições são relacionadas com as variáveis de decisão ser binária.

Vale ressaltar que a reposição dos produtos pode acontecer em dois momentos distintos, durante o período de *picking*, onde são chamadas de reabastecimentos simultâneos, considerando que tem produtos disponíveis na RA e as reposições fora do período de *picking*, chamada de reposições antecipadas, caso em que a variável  $y_{ij}$  será 1.

Ainda sobre a formulação do problema, temos que a função objetivo pode ser dividida em três blocos, considerando o primeiro:  $T^{pf} p_i x_i$ , onde as variáveis estão relacionadas à alocação de produtos na FA, o segundo bloco:  $T^{pr} p_i (1 - x_i)$ , onde a destinação dos produtos é a RA, e finalmente  $T^{cr} \left( u_i x_i - \sum_{j=2}^{m_i} u_{ij} y_{ij} \right)$ , como o terceiro bloco, referente à reposição

dos produtos, o  $u_i$  representa o abastecimento simultâneo, e o  $y_{ij}$  reabastecimento antecipado, esta terceira parte da equação somente é considerada, se o produto for destinado à área da frente, onde  $x_i = 1$ , e então  $y_{ij}$ , pode ser 0 ou 1. É simples a identificação dos blocos com a destinação dos produtos, devido a variável referida aos tempos para as determinadas atividades.

Para este estudo algumas considerações devem ser feitas:

- A variável  $p_i$ , que representa a quantidade de *picking*s necessários para atender a demanda, durante o determinado período de *picking*.
- O tempo de reabastecimento simultâneo ou antecipado é conhecido e são iguais.
- $v_i$  Representa o número de locais de armazenagem na área da frente ocupados por uma unidade de carga do produto  $i = 1 \dots N$ . Note que este valor é assumido como constante para cada produto  $i$ .
- Considerando as seguintes proposições apresentada por Frazelle (1994):
- Todos os recebimentos iniciais são alocados para a RA.
- O custo do *picking* da RA é muito superior ao custo do *picking* da FA, desta forma a alocação de produtos na FA, reduz o custo total do *picking*. O custo de reposição é superior ao custo de *picking* da RA, conforme em Berg & Zijm (1999), desta forma ( $T^{pr} > T^{pf} > T^{cr}$ ).
- Na lista de *picking* são definidos quais produtos serão coletados e suas quantidades.

O foco do FRP é designar o local de alocação dos produtos, determinando se os mesmos irão ser destinados a FA ou RA, levando em consideração os custos de coleta dos mesmos e a demanda por estes produtos durante o período de *picking*.

### 3.1.1 Pesquisas sobre Forward reserve problem

Referente às pesquisas relacionadas com o FRP, foi feito um levantamento considerando as pesquisas relevantes no campo, visando identificar quais os assuntos desenvolvidos no entorno deste problema, com o intuito de obter mais conhecimento acerca do tema e identificar possíveis relações entre as pesquisas existentes e a pesquisa proposta neste estudo.

A Tabela 4 apresenta as referências, o ano de publicação, e também a problemática abordada nos estudos.

Tabela 4 – Estudos relevantes sobre a temática do FRP.

Autor	Problemática
Hackman & Rosenblatt (1990)	Com o objetivo de reduzir os custos de alocação de produtos nos armazéns, é proposta uma heurística para resolver o problema no tocante à escolha de quais produtos serão alocados e quais quantidades, como aplicação é demonstrado o uso da heurística em um armazém de produtos da indústria naval. Este estudo considera o armazém com área da frente e área reserva, e também a definição de reabastecimento.
Malmborg (1996)	Utiliza o conceito de área da frente e área reserva para propor um modelo de avaliação de desempenho integrada para armazéns.
Berg <i>et al.</i> (1998)	Considera o armazém com duas áreas, onde o foco desta divisão é minimizar o trabalho da atividade de <i>picking</i> , durante o período de <i>picking</i> . Neste estudo é apresentado um modelo onde é acrescentada uma restrição com relação ao reabastecimento. Os resultados são comparados com outras abordagens como, por exemplo o problema da mochila, e apresenta resultados eficientes garantindo ganho de desempenho.
Berg & Zijm (1999)	Trabalha com conceito B-FRP, onde o problema é transformado em um problema de programação linear binária. Várias definições do escopo de armazéns são apresentadas, como: tipologias de sistemas de armazenagem, atividades do armazém, sistemas de armazenagem, entre outros.
Heragu <i>et al.</i> (2005)	Consideram um armazém com cinco áreas funcionais: recebimento, expedição, <i>cross-docking</i> , reserva, área da frente. Eles propõem um modelo de otimização através de um algoritmo heurístico para determinar a atribuição de SKU as diferentes áreas do armazém, definem também o tamanho de cada área, objetivando minimizar os custos totais de movimentação e armazenagem de materiais.
Bartholdi & Hackman (2008)	Neste estudo eles comparam duas estratégias comumente utilizadas na indústria: atribuir o mesmo espaço para cada SKU, chamada de <i>Equal Space Strategy</i> (EQS), ou alocar a quantidade referente ao mesmo período de suprimento de cada SKU, chamada de (EQT), com uma estratégia ótima de alocação. A conclusão do trabalho apresenta semelhantes desempenhos entre as estratégias EQS e EQT, e a estratégia ótima de alocação, requer menor esforço. Esta pesquisa se limita a trabalhar com alocação de produtos pequenos.
Gu <i>et al.</i> (2010)	Trata o FRP através de um algoritmo <i>branch-and-bound</i> objetivando encontrar uma solução ótima rapidamente. Os resultados são comparados baseados em dados reais. O estudo apresenta resultados satisfatórios no ponto de vista dos autores.
Walter <i>et al.</i> (2013)	Nesta pesquisa vários questionamentos com relação à decisão de alocação de produtos em um armazém dividido em duas áreas são levantados. Aspectos como redução da área da frente, e <i>trade-offs</i> na atividade de <i>picking</i> são analisados, assim como diferentes abordagens do FRP são apresentadas.

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

Foi possível observar que há diversas abordagens possíveis para tratar o FRP, seja considerando o tamanho da FA, em detrimento da produtividade da atividade de *picking*; seja buscando avaliar o desempenho das atividades do armazém; entre outros, mas o objetivo em comum é de tornar a atividade de *picking* menos custosa, visto que conforme dito anteriormente é a atividade do armazém que acarreta mais custos para as organizações.

Na seção seguinte serão apresentadas definições de modelos de apoio à decisão multicritério, que será uma das abordagens sugeridas para resolver o FRP.

Outras decisões acerca do FRP também são objetos de estudo, como: tamanho da FA, visto que a produtividade de *picking* é inversamente proporcional ao tamanho da FA.

O universo do FRP há diversos contextos de estudo, onde as problemáticas podem ser ramificadas para questões de alocação, design do armazém, dimensão da FA e RA, enfim, o escopo do problema é amplo com diversas possibilidades.

Este estudo será limitado à análise acerca da alocação dos produtos, se na FA ou RA, bem como a análise sobre os custos envolvidos nesta decisão.

### **3.2 Modelos multicritério de apoio à decisão**

Os problemas de decisão enfrentados nas organizações em sua maioria envolvem objetivos diversos e muitas vezes conflitantes. Estes problemas são classificados como multicritério, quando é necessário analisar vários aspectos do problema para que se tome a melhor decisão.

Nesta seção serão abordadas duas formas de tratar problemas com múltiplos critérios: a *goal programming*, que apresentará uma abordagem com menor envolvimento do decisor, e a abordagem de classificação através da aplicação do PROMSORT, que exigirá um pouco mais de participação do decisor.

Para Almeida *et. al.* (2016) um problema de decisão multicritério consiste numa situação, em que há pelo menos duas alternativas de ação para se escolher, a essa escolha é conduzida pelo desejo de se atender a múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si.

De acordo com Opricovic (2007) uma otimização multicritério é definida como o processo de determinar a melhor solução viável de acordo com critérios estabelecidos que estejam associados a diferentes consequências. Em alguns momentos estes critérios vão ser conflitantes, porém o objetivo é encontrar a alternativa que melhor solucione o problema. Os critérios também podem ser chamados de atributos, a definição está ligada ao método multicritério que será utilizado.

O processo decisório é composto por atores, que podem ser nomeados como cliente, analista, especialistas, *stakeholders*, assessores e decisor.

Um importante ator deste processo é o decisor, ou seja, quem efetivamente vai tomar a decisão de qual alternativa é a melhor, e para isto ele utilizará de métodos de apoio à decisão. Vale destacar que o decisor pode ser um indivíduo responsável pela decisão, ou várias pessoas, o segundo caso torna-se um problema de decisão em grupo.

Uma característica relevante da abordagem multicritério é no tocante ao considerar a estrutura de preferência do decisor, o que envolve uma avaliação dele, de maneira subjetiva perante as possíveis alternativas. Esta estrutura de preferência será considerada no modelo de decisão e, a partir deste ponto, será feita a avaliação dos múltiplos critérios.

Segundo Almeida (2013) um modelo de decisão corresponde a uma representação formal e com simplificação do problema enfrentado com suporte de um método multicritério de apoio à decisão.

No contexto organizacional, o impacto das decisões tomadas, direciona a empresa ao sucesso ou ao fracasso, desta forma a utilização de métodos que auxiliem a tomada de decisão gera benefícios diretos às organizações.

Nas seções a seguir serão apresentados conceitos como: problemáticas multicritério e estruturas de preferência, alguns métodos existentes ligados as suas problemáticas e como deve ser feita uma modelagem de um problema multicritério. Estes pontos serão apresentados com o objetivo de introduzir conhecimentos necessários ao entendimento do presente estudo.

### 3.2.1 Problemáticas multicritério e estrutura de preferência

Almeida *et al.* (2016) caracterizam uma situação como um problema de decisão se o decisor tiver pelo menos duas alternativas, no qual ele deve escolher uma.

O conjunto de alternativas é representado por  $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$ . O conjunto pode ser composto de elementos contínuos ou discretos. Os componentes básicos de um problema de decisão é o conjunto de alternativas e a consequência. A consequência é o desempenho das alternativas, perante os critérios escolhidos para a análise. As alternativas são avaliadas conforme suas consequências. A Tabela 5 abaixo ilustra o conjunto de alternativas, bem como suas consequências, conforme os critérios, para o problema ilustrado abaixo:  $m$  representa o número de alternativas e  $n$  a quantidade de critérios, onde  $r_{ij}$  representa a consequência da alternativa  $i$  referente ao critério  $j$ .

Tabela 5 – Matriz de consequência

Alternativas		Critérios					
A	Critério1	Critério2	Critério3	...	Critério j	...	Critério n
$a_1$	$r_{11}$	$r_{12}$	$r_{13}$	...	...	...	$r_{1n}$
$a_2$	$r_{21}$	$r_{22}$	$r_{23}$	...	...	...	$r_{2n}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$a_i$	...	...	...	...	$r_{ij}$	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
$a_m$	$r_{m1}$	$r_{m2}$	$r_{m3}$	...	...	...	$r_{mn}$

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

Uma etapa posterior à escolha do método multicritério para resolução do problema, é compreender qual tipo de problemática está inserido o contexto a ser analisado. Problemática está diretamente ligada com a recomendação que será feita para a resolução do problema. Para isto é necessário conhecer quais os tipos de problemáticas no tocante a modelos multicritério de apoio a decisão.

De acordo com Roy (1985) as classificações são as seguintes:

- ✓ Objetiva identificar a melhor alternativa ou seleciona um conjunto limitado das melhores alternativas, também chamada de problemática de escolha.
- ✓ Busca a construção de uma ordem hierárquica das alternativas da melhor para a pior, também chamada de problemática de ordenação.
- ✓ Visa classificar as alternativas em grupos homogêneos predefinidos; também chamada de problemática de classificação.
- ✓ Objetiva identificar as principais características das alternativas e realizar a sua descrição com base nestas características, também chamada de problemática de descrição.

Para Belton & Stewart (2002) outras duas classificações podem ser consideradas no escopo das problemáticas, são elas:

- ✓ Com o objetivo de procurar, identificar ou criar novas alternativas de decisão de acordo com as metas e aspirações definidas pelo processo de apoio multicritério à decisão, a problemática de design.
- ✓ Com a finalidade de escolha de um subconjunto de alternativas em um grande conjunto de possibilidades, levando em consideração não só as características de cada alternativa individual, mas também a maneira como elas interagem e as sinergias positivas e negativas, também chamada de problemática de portfólio.

Nesta pesquisa a ênfase será na problemática de classificação de alternativas (*sorting*).

A estrutura de preferência pode ser interpretada como uma comparação de elementos, que através de relações binárias estabelecem pares ordenados.

Há diversas estruturas de preferências disponíveis para serem estudadas, porém algumas são mais presentes em estudos multicritério, são elas: Estrutura (P,I); Estrutura (P,Q,I) e Estrutura (P,Q,I,R).

### 3.2.2 Objetivos e Avaliações de Critérios e Procedimentos de Normalização

Dois tipos de avaliações são feitas no tocante aos critérios: intracritério e intercritério. Os critérios são como os objetivos representados no problema, e que podem ser formalizados por uma função  $g_i(a)$ , função esta que representa a preferência do decisor perante o conjunto de alternativas.

De acordo com Almeida (2013) a avaliação intracritério consiste na avaliação de cada alternativa  $i$  para cada critério  $j$ , o que leva à função valor  $v_j(a_i)$ . A construção da função valor para cada elemento é baseada na avaliação das consequências a serem obtidas.

Apesar de a maioria das avaliações obterem a função valor com um comportamento linear, a obtenção de funções não-lineares também é possível. Devido ao comportamento linear ser o mais frequente, os procedimentos de normalização são comuns em multicritério, geralmente em escala determinada entre 0 e 1.

Para os procedimentos de normalização, ou seja, a avaliação intracritério com função valor linear dar-se a transformação na escala de avaliação, onde geralmente o valor 1 representa o elemento de maior preferência e o valor 0 o elemento de menor preferência.

Os procedimentos de normalização comumente usados são apresentados por Almeida (2013). O procedimento utilizado neste estudo segue apresentado na equação (3).

$$v'_j(a_i) = \frac{v_j(a_i)}{[Max v_j(a_i)]} \quad (3)$$

Os valores são mantidos sobre o intervalo  $0 < v'_j(a_i) \leq 1$ . Divisão pelo valor máximo; indica a distância para a alternativa líder; pode ser interpretado como um percentual do valor máximo de  $v_j(a_i)$ .

Outros procedimentos são descritos na literatura, porém não serão apresentados nesta pesquisa.

A partir desta análise é possível construir a estrutura de matriz de consequências que

será utilizada na modelagem multicritério, funcionando como informações de entrada para os métodos de apoio a decisão multicritério.

A avaliação intercritério é a avaliação que considera a combinação de diferentes critérios, para este momento deve-se escolher qual o método de agregação desses critérios. Desta forma será possível realizar a comparação entre as alternativas através de um valor global para cada alternativa.

### 3.2.3 Métodos compensatórios e não compensatórios

Uma relevante característica acerca do método multicritério está relacionada com a compensação entre os critérios. Em função dessa compensação os métodos podem ser classificados entre compensatório e não compensatório.

A compensação entre os critérios ocorre quando um melhor desempenho em um critério pode compensar um menor desempenho em outro critério, ou seja, quando se considera os *trade-offs* entre os critérios. Para a racionalidade não compensatória, não é apresentada uma visão integrada e global dos critérios para algumas alternativas.

### 3.2.4 Métodos multicritério de apoio à decisão

As classificações acerca dos métodos multicritério são extensas. Uma delas é com relação à natureza do conjunto das alternativas do problema que pode ser: discreta ou contínua, esta segunda também chamada de problema de multicritério de otimização.

De acordo com Behzadian *et al.* (2010) nas últimas décadas vários métodos multicritério de apoio a decisão têm sido propostos para ajudar a selecionar as melhores alternativas de problemas.

Uma classificação conforme Vincke (1992) onde os métodos podem ser classificados como:

- ✓ Métodos de critério único de síntese: Processo de agregação de critérios em um único critério, resultando em uma função global. Métodos de sobreclassificação (*outranking*): Identificação de subordinação, estes métodos não apresentam uma pontuação para as alternativas. Os métodos mais difundidos são o ELECTRE e PROMETHEE.
- ✓ Métodos interativos: Destinados a problemas de natureza discreta ou contínua, utilizando procedimentos interativos. Na maioria dos casos inclui problemas de programação linear multiobjetivo (PLMO).

Os métodos de critério único de síntese e os métodos de sobreclassificação representam

vários métodos discretos.

### 3.2.5 *Goal programming*

Resultado do desenvolvimento de técnicas de programação linear (PL), a *goal programming* é destinada a problemas que trabalham não apenas com uma função objetivo, e sim com diversos objetivos simultâneos, como os métodos multicritério apresentados previamente. O termo *goal programming* (GP) passou a ser utilizado, e mais desenvolvido, a partir das décadas de 1960 e 1970, por Charnes & Cooper (1961).

Até o momento do desenvolvimento de conceitos de *goal programming*, os problemas de programação linear tinham uma função-objetivo e restrições, com características de restrições rígidas. Por sua vez, problemas de GP não se resumem a maximizar ou minimizar uma função-objetivo dentro de um conjunto de restrições. A solução muitas vezes envolve satisfazer uma condição mínima aceitável – e não atingir plenamente os múltiplos objetivos.

Segundo Arenas Parra *et al.* (2001) a GP é uma técnica de programação matemática com a capacidade de lidar com vários objetivos seguindo um critério de satisfação, em vez de uma otimização desse critério de satisfação que leva ao conceito de meta.

Conforme Winston (2004) essa técnica pode ser utilizada em situações onde a programação linear se apresenta inviável, por não encontrar nenhuma solução que satisfaça todos os objetivos, ou seja, em situações onde os gestores objetivam aproximar-se das metas estabelecidas, em detrimento da otimização, de atingir o resultado exato.

Uma diferença entre a PL e a GP está na relação com a função objetivo, na PL o objetivo é maximizar ou minimizar esta função, em contrapartida na GP o objetivo é minimizar os desvios com relação ao alcance dos objetivos, desta forma, a GP pode ser considerada uma extensão da PL, porém que busca a solução simultânea de um sistema de múltiplos objetivos.

A GP busca esta solução simultânea através da inserção de restrições flexíveis juntamente com inserção de variáveis auxiliares, chamadas de variáveis de desvio, que podem assumir valores superiores ou inferiores às metas que estarão associadas a uma função objetivo destinada aos modelos de GP (Charnes & Cooper, 1961; Kornbluth, 1973; Ignizio, 1985).

De acordo com Chang (2007) a programação de metas é uma técnica importante para resolver muitos problemas de decisão e gestão.

Devido a sua vasta aplicabilidade a *goal programming* é estudada em diversos campos tais como:

- ✓ Aplicação de um modelo de GP em uma linha de montagem (Gökçen & Erel, 1997);
- ✓ Alocação de produtos na indústria petroquímica (Badri, 1999);
- ✓ Seleção de projetos (Parra *et al.*, 2001); ( Jones *et al.*, 2010); (Lee & Kim, 2000);
- ✓ Sistema de reciclagem de papéis (Pati *et al.*, 2008);
- ✓ Resolução de problemas de planejamento com restrição de recurso (De Oliveira *et al.*, 2003);
- ✓ Aplicado à energia renovável (Jones *et al.*, 2010);
- ✓ Gestão da cadeia de suprimentos (Moghaddam, 2015); (Ransikarbum & Mason, 2016); (Yu *et al.*, 2016).

Conforme Jones *et al.* (2016) as pesquisas mais recentes, propuseram variantes avançadas que proporcionam estruturas eficazes para combinar filosofias e modelar problemas de decisão, complexos e modernos, envolvendo múltiplos objetivos conflitantes.

Segundo De Oliveira *et al.* (2003) o modelo geral de programação por metas pode ser escrito conforme equação (4).

$$\text{Min } z = w^- d^- + w^+ d^+$$

$$\text{Sujeito a } \begin{cases} Ax - d^+ + d^- = M \\ x \geq 0, d^+ \geq 0, d^- \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Considerando,

$z =$  função objetivo

$w^+ =$  vetor coluna (1x m) representando os pesos associados aos desvios positivos das metas

$w^- =$  vetor coluna (1x m) representando os pesos associados aos desvios negativos das metas

$A =$  matriz (m x n) representando as restrições

$M =$  matriz (m x 1) representando as metas que devem ser alcançadas

$d^- =$  vetor (m x 1) representando os desvios negativos da meta m

$d^+ =$  vetor (m x 1) representando os desvios positivos da meta m

$x =$  vetor (n x 1) representando as variáveis de decisão

Há diversas classificações acerca dos modelos de GP, tanto em ambientes determinísticos, quanto em ambientes de incerteza. O escopo deste estudo está limitado ao ambiente determinístico.

De acordo com Silva & Marins (2015) as principais abordagens acerca dos problemas de GP em ambientes determinísticos são:

- ✓ Programação por metas ponderada (*Weighted Goal programming* – WGP): primeira a ser desenvolvida; pesos são atribuídos as variáveis de desvios (para mais ou para menos) com relação às metas estabelecidas para os objetivos;
- ✓ Programação por metas com priorização (*Lexicographic Goal programming* – LGP): os objetivos são ordenados de acordo com sua importância.
- ✓ Programação por metas Minmax: funções de realização que consideram a soma das variáveis de desvio;
- ✓ Programação por metas estendida: combinação entre *goal programming* ponderada, com priorização e Minmax.
- ✓ Programação por metas inteira: trabalha com atribuições de funções de penalidade.
- ✓ Programação por metas binária: há variáveis inteiras binárias associadas à realização ou não das metas estabelecidas para os objetivos.
- ✓ Programação por metas e Análise por Envoltória de dados: desenvolvida para aplicações em DEA.

Numa formulação GP convencional, as metas são definidas com precisão. Sendo assim, a formulação pressupõe que o decisor é capaz de determinar, com precisão, valores de meta para seus problemas de tomada de decisão.

### 3.2.5.1 Solução de problemas de goal programming

O problema de GP pode ser resolvido através de uma série de passos a serem seguidos, estes vão desde a definição de objetivos e prioridades até a obtenção dos resultados finais.

Para Chang (2007) o GP é uma técnica importante para os decisores considerarem simultaneamente vários objetivos na busca de um conjunto de soluções aceitáveis.

De acordo com De Oliveira *et al.* (2003) a *goal programming* busca uma forma de alcançar os objetivos o mais próximo possível da meta determinada; o objetivo desta técnica é minimizar a soma dos desvios para todas as metas.

Neste sentido o problema pode ser resolvido em etapas. A primeira etapa consiste em definir os objetivos. Esta definição conta com a participação do decisor, para determinar os objetivos conforme sua percepção acerca do problema, bem como formular as expressões matemáticas que relacionam as variáveis de decisão.

Com os objetivos definidos, chega o momento de transformar estes objetivos em metas, sendo este o valor que se deseja alcançar, neste momento as variáveis de desvios são inseridas

no problema, visto que neste modelo trabalha-se com restrições flexíveis, devido à presença das variáveis de desvio.

De acordo com Romero (2003) um elemento-chave de um modelo GP é a função de realização que representa uma expressão matemática das variáveis de desvio indesejadas, visto que o objetivo é minimizar estes desvios a fim de atingir a meta previamente definida. Esta função tem um comportamento típico "menos é melhor" (isto é, cada argumento da função diminui monotonicamente). Cada tipo de função de realização leva a uma variante GP diferente.

Na etapa seguinte, é o momento da priorização das metas, na *goal programming* ponderada deve ser definido o peso para cada variável que representa as metas, desta forma o modelo irá priorizar o atingimento das metas conforme os pesos.

Para finalizar, a função será executada com o objetivo de minimizar os valores das variáveis de desvio das metas. Assim como os problemas de PL, os problemas de GP podem ser resolvidos através da solução gráfica ou do método simplex.

Uma importante consideração acerca da modelagem do problema é a participação do decisor para o estabelecimento das metas, definição dos critérios e ponderação das metas. Este envolvimento, contudo, não demanda intensa participação do decisor.

### **3.3 Síntese Conclusiva**

Ao final deste capítulo da pesquisa foi possível entender melhor como o problema FRP será abordado no estudo. Com a apresentação do problema, e introdução dos conceitos de métodos multicritério de apoio à decisão e especificamente a *goal programming*.

Os modelos que serão utilizados nesta pesquisa serão apresentados no capítulo a seguir. As características e peculiaridades do problema serão consideradas na modelagem. Os 12 passos apresentados por Almeida *et. al.* (2016) para modelagem do problema serão seguidos.

#### 4 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO PARA FORWARD RESERVE PROBLEM (FRP)

O modelo matemático proposto por Hackman e Rosenblatt (1990), e mais tarde aprimorado por Berg (1999) resolve o problema da alocação dos produtos em um armazém, designando quais produtos serão alocados na FA e RA com foco na minimização do custo. Porém este modelo não considera aspectos como atendimento da demanda, satisfação do cliente, classificação de produtos, fatores relevantes para a atividade de *picking*, posterior etapa da operação do armazém, os quais têm grande representatividade nos custos da operação.

No processo de definição de quais produtos serão destinados a FA, é almejado pelos gestores alta *performance* nessa atividade, observa-se, porém, que frente ao conflito entre os diversos critérios não é possível de se verificar a otimização simultânea de todos os objetivos. Partindo deste ponto, o presente estudo analisa duas abordagens: *Goal programming* (GP) e Classificação com PROMSORT.

Nesse sentido, a GP pode ser vista como uma opção em que as soluções refletem as preferências do decisor, porém a participação do decisor é limitada, enquanto a abordagem de classificação busca exigir um nível de articulação e de modelagem muito mais acentuada no tocante as preferências do decisor.

Para a GP o decisor pode claramente concordar com ações que se distanciam pouco do que é desejável (meta), sem que para isso tenha que se submeter a processos mais complexos de articulação de preferências.

A abordagem de classificação trabalha a participação do decisor de maneira mais próxima do problema. Nesta fase do processo, o decisor estará presente e indicando valores para os perfis, pesos, limiares e pontos de corte.

O foco da GP é buscar a solução que atinja uma condição mínima aceitável para a resolução do problema, já a abordagem de classificação busca atingir a solução conforme as informações indicadas pelo decisor, considerando as restrições do problema, que para este estudo é a capacidade disponível na FA.

Desta forma, é enfatizado que as abordagens aqui apresentadas servem para diferentes situações, e podem ser aplicadas para buscar melhores soluções para a alocação de produtos.

Diante do âmbito da cadeia de suprimentos, o problema se encontra na atividade de alocação de produtos, ou seja, quando os produtos já se localizam dentro do armazém e a

decisão a ser tomada é definir em que espaço esses produtos vão ser destinados. O estudo trata da operação do armazém, com o objetivo de reduzir o tempo de *picking*, e conseqüentemente os custos desta atividade.

Algumas definições acerca do problema devem ser apresentadas com o intuito de posicionar a situação de forma coerente, sendo assim, será considerada a alocação manual; quanto ao método de alocação do produto será armazenamento aleatório, dentro da área destinada, seja para FA, seja para RA. Onde o objeto da pesquisa é definir se o produto será alocado na área da frente ou na área reserva do armazém.

Alguns pontos foram levados em consideração como premissas para a realização deste estudo, são eles:

- ✓ Não serão levadas em consideração as seguintes características dos produtos: Dimensões, densidade e peso.
- ✓ Por definição, a primeira alocação do produto sempre é destinada a área reserva.
- ✓ Vale ressaltar que os tempos considerados neste estudo, foram os mesmos tempos considerados em Berg (1999), onde  $T^{pr} = 1 \text{ min}$ ,  $T^{pf} = 2 \text{ min}$  e  $T^{cr} = 5 \text{ min}$ .
- ✓ Com relação ao tempo de atendimento, para o FRP eles são considerados os mesmos para todos os produtos, ou seja, para alocar o produto A na FA se gasta 1 minuto, para alocar o produto B na FA, também se gasta 1 minuto. Logo este fator não será levado em consideração para a formulação do problema sob o ponto de vista do GP e da modelagem multicritério.
- ✓ A demanda durante o período de *picking* é conhecida, e será gerada através de dados aleatórios e podem variar no intervalo de 50 a 500 unidades.
- ✓ Com relação à quantidade de clientes, a geração de dados também será aleatória, considerando a variação de 1 a 50. A quantidade de produtos disponíveis para serem alocados pode variar no intervalo 50 a 500 unidades. Tendo em vista que é necessário saber qual a quantidade de espaço disponível na FA para a alocação de produtos, também será fornecida a quantidade de produtos já estocadas na FA, os dados serão aleatórios e poderão variar entre 50 e 500.
- ✓ A variável, espaço requerido pelo produto, será relacionado com o número de unidades do produto que estão para serem alocados.
- ✓ Outro ponto relevante do problema é com relação à alocação dos produtos. Tendo duas possíveis alocações, na área da frente ou na área reserva, não há a possibilidade de uma parte dos produtos A serem alocados na área da frente e outra parte dos

produtos A ser destinada a área reserva.

- ✓ É considerado que um produto é pego em cada viagem, ou seja, *order picking* de comando único.
- ✓ O custo do *picking* da RA é muito superior ao custo do *picking* da FA, desta forma a alocação de produtos na FA, reduz o custo total do *picking*. O custo de reposição é superior ao custo de *picking* da RA.

Em posse das informações obtidas nos capítulos anteriores e utilizando os conceitos e parâmetros definidos por Berg & Zijm (1999) o FRP será analisado sob dois aspectos distintos neste estudo, além da abordagem clássica.

Considerando o *picking* uma atividade desenvolvida durante um período determinado, chamado de período de *picking*, sendo a demanda para este período de *picking* conhecida e a capacidade da FA uma restrição para este problema, conforme as premissas apresentadas anteriormente, o FRP será tratado através de duas perspectivas.

O primeiro modelo a ser analisando, será adaptado para um problema de otimização, mais especificamente de GP, contando com novas restrições; e em seguida tratado como um problema de classificação, onde os critérios que as alternativas serão avaliadas trarão diferentes aspectos para o problema.

As etapas serão apresentadas a seguir:

1. Tratar como um problema de programação linear binário, considerando as variáveis de decisão: os produtos que serão destinados a FA e quais produtos terão reposição, ou seja, a abordagem apresentada por Berg & Zijm (1999). O principal ponto desta modelagem está relacionado com os tempos de alocação na FA, na RA bem como o tempo de reposição dos produtos. Será modelado o problema original, analisando os resultados e identificando possíveis pontos de aperfeiçoamento para tornar a resolução do problema mais coerente com alguns aspectos práticos do problema de alocação de produtos.

Considerando agora o problema como um problema com múltiplos critérios:

2. Tratar o problema B-FRP através da *goal programming*, considerando os seguintes objetivos: Utilizar ao máximo a capacidade da área da frente; procurar atender o máximo de clientes possível e por fim, procurar atender a demanda de produtos estabelecida durante o período de *picking*. Assim o problema será resolvido considerando estas metas, e buscando minimizar o valor das variáveis de desvio. É importante ressaltar que a utilização máxima da capacidade será considerada uma

restrição rígida.

3. Tratar sob o olhar de uma problemática de classificação, onde o problema será tratado como não compensatório, utilizando o método PROMSORT baseado na família PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*). A principal relevância desta aplicação, frente às demais apresentadas está relacionada com a participação do decisor. O resultado desta aplicação será a classificação dos produtos em classes e posteriormente a decisão de alocação destes produtos na FA, respeitando a restrição de espaço disponível.

#### 4.1 Abordagem Forward reserve problem (FRP)

Conforme foi explicado neste estudo, a aplicação do FRP foi feita, baseada nas premissas apresentadas anteriormente.

Os dados foram analisados com foco em diferentes aspectos. Apesar de o modelo considerar apenas o tempo para *order picking*, seja na área da frente, na área reserva ou para reabastecimento (antecipado e simultâneo), neste estudo as análises serão feitas considerando o desempenho deste modelo em diferentes aspectos, para que seja possível a comparação dos resultados entre este modelo e a modelagem através da *goal programming* aliada a multicritério.

Para a aplicação da abordagem, foram consideradas as seguintes fórmulas:

$m_i$  = número de unidades disponíveis do produto  $i$ ,  $i = 1, \dots, N.V$

= locais de armazenagem disponíveis na área da frente.

Para este problema  $V = 10.000/15.000$ .

$T^{pf} = 1$  (Tempo médio de picking da área da frente)

$T^{pr} = 2$  (Tempo médio de picking da área de trás)

$T^{cr} = 5$  (Tempo médio de reposição), seja ela simultânea ou antecipada

Desta forma a seguinte formulação foi aplicada e segue conforme equação (2). Todas as características referentes aos componentes da fórmula, como função objetivo e restrições foram explicadas anteriormente na apresentação da equação (2).

Na lista de *picking* são definidos quais produtos serão coletados e suas quantidades. O foco do FRP é designar o local de alocação dos produtos, determinando se os mesmos irão ser destinados a FA ou RA, levando em consideração os custos de coleta dos mesmos e a demanda por estes produtos durante o período de *picking*, buscando minimizar o tempo total gasto para a alocação destes produtos no armazém.

Resumindo, o problema de alocação de produtos consiste em: um armazém e o gestor deve tomar a decisão de, ao receber os produtos do fornecedor, destinar esses produtos para seus respectivos locais de armazenagem. A configuração do armazém restringe-se a duas áreas: da frente e reserva. Desta forma a resolução deste problema de forma matemática irá apoiar o decisor, de maneira que busque otimizar os espaços utilizados de forma a identificar a melhor destinação dos seus produtos.

## 4.2 Goal programming

Conforme Pati *et al.* (2008) a GP é a abordagem mais amplamente utilizada dentro do escopo de problema de tomada de decisão com múltiplos critérios. Neste sentido, cabe considerar que a utilização da abordagem para problema com vários critérios, considera a posição do decisor de maneira mínima.

Até o momento do desenvolvimento de conceitos de *goal programming*, os problemas de programação linear tinham uma função-objetivo e restrições, com características de restrições rígidas. Por sua vez, problemas de GP não se resumem a maximizar ou minimizar uma função-objetivo dentro de um conjunto de restrições. A solução muitas vezes envolve satisfazer uma condição mínima aceitável – e não atingir plenamente os múltiplos objetivos.

Para a aplicação da GP, o primeiro passo consiste em definir os objetivos e prioridades, para o problema apresentado neste estudo, trabalhou-se com os seguintes objetivos:

- ✓ Objetivo 1: Utilizar ao máximo a capacidade da área da frente;
- ✓ Objetivo 2: Procurar atender às demandas de produtos estabelecidas durante o período de *picking*;
- ✓ Objetivo 3: Procurar atender o máximo de cliente possível durante o período de *picking*.

Uma observação relevante considerando à definição dos objetivos é que as expressões procuram e ao máximo, conotam uma noção de aproximação, flexibilidade, visto que em GP é trabalhado a aproximação invés da exatidão.

Concernente aos três objetivos analisados, o primeiro objetivo será considerado como uma restrição rígida, e os demais objetivos terão o mesmo peso para o cálculo.

A segunda etapa acerca do problema de GP está relacionada com o desenvolvimento das restrições e da função objetivo do problema, bem como sua representação matemática. Para problemas de GP o objetivo é encontrar uma solução que atinja ao máximo todos os objetivos propostos. Neste sentido, nesta etapa, são inseridas variáveis de desvio. O intuito é

minimizar o desvio (distância) entre os objetivos previamente estabelecidos e desta forma alcançar as correspondentes restrições. A solução “ideal” para este problema é atingida quando as variáveis de desvio são iguais à zero, desta forma os objetivos são alcançados.

Para Tamiz *et al.* (1998) no tocante ao problema de GP, de fato, os conflitos de interesse e a incompletude das informações disponíveis tornam bastante difícil a construção de uma representação matemática confiável das preferências dos decisores. Comumente, dentro desse tipo de ambiente de decisão, os decisores tentam alcançar um conjunto de metas (ou metas) tão próximas quanto possível.

Antes de iniciar a aplicação da abordagem GP, é necessário fazer algumas considerações acerca do problema.

Com relação ao tempo de atendimento, para o FRP eles são considerados os mesmos para todos os produtos, desta forma este fator não será levado em consideração para a formulação do problema sob o ponto de vista do GP. Esta suposição é aceitável para armazéns que movimentam um conjunto restrito de SKU.

Para Chang (2007) os níveis de aspiração muito imprecisos podem existir em problemas de tomada de decisão que tem como objetivo "um pouco maior do que", "substancialmente menor do que", ou "em torno". Desta forma torna o objetivo vago devido ao entendimento ambíguo do decisor. Assim, o decisor pode achar que é impossível estabelecer níveis precisamente exatos para os objetivos de seus problemas. Para este problema os valores metas são conhecidos e não foram definidos pelos decisores, estes aspectos acerca da preferência do decisor será abordado na modelagem multicritério, de forma mais profunda.

Como justificativa para a escolha do método de *goal programming* ponderada, com relação à definição do peso dos objetivos é necessário inserir a estrutura de preferência do decisor no tocante aos objetivos, porém, um dos objetivos listados no problema deste estudo não está relacionado com a preferência do decisor, e sim com uma limitação do problema, no caso, o objetivo relacionado com a restrição de espaço da área de frente do armazém, por esta razão foi considerada uma restrição rígida. Para os demais objetivos foram considerados o mesmo peso, no caso 1, para que a estrutura de preferência do decisor não fosse necessária neste momento do estudo, visto que esta estrutura será analisada *a posteriori* através do uso da modelagem multicritério.

De conhecimento prévio das informações relacionadas com a abordagem GP para este problema, na equação (5) será apresentada a função objetivo e as restrições aplicadas nesta etapa do estudo.

$$\begin{aligned}
& \text{Min } \sum_{i=1}^q (\alpha_i n_i + \beta_i p_i) \\
& \text{Sujeito a} \\
& f_1(X) + n_1 - p_1 = t_1 \text{ restrição de clientes} \\
& f_2(X) + n_2 - p_2 = t_2 \text{ restrição de demanda} \\
& \sum_{i=1}^q z_i \leq V \text{ restrição rígida referente a ocupação da FA} \\
& i \in \{1, \dots, q\} \\
& X \in F, \text{ onde } F \text{ é um conjunto viável} \\
& n \geq 0, p \geq 0
\end{aligned} \tag{5}$$

$\alpha$  e  $\beta$  correspondem aos pesos associados às variáveis auxiliares (desvios), respectivamente para mais ou para menos dos valores das metas relacionadas, onde para esta aplicação todas receberam valores igual a um. Com relação aos valores de  $f_1$  e  $f_2$  estes são variáveis conforme cada cenário analisado.

### 4.3 Problemática de Classificação

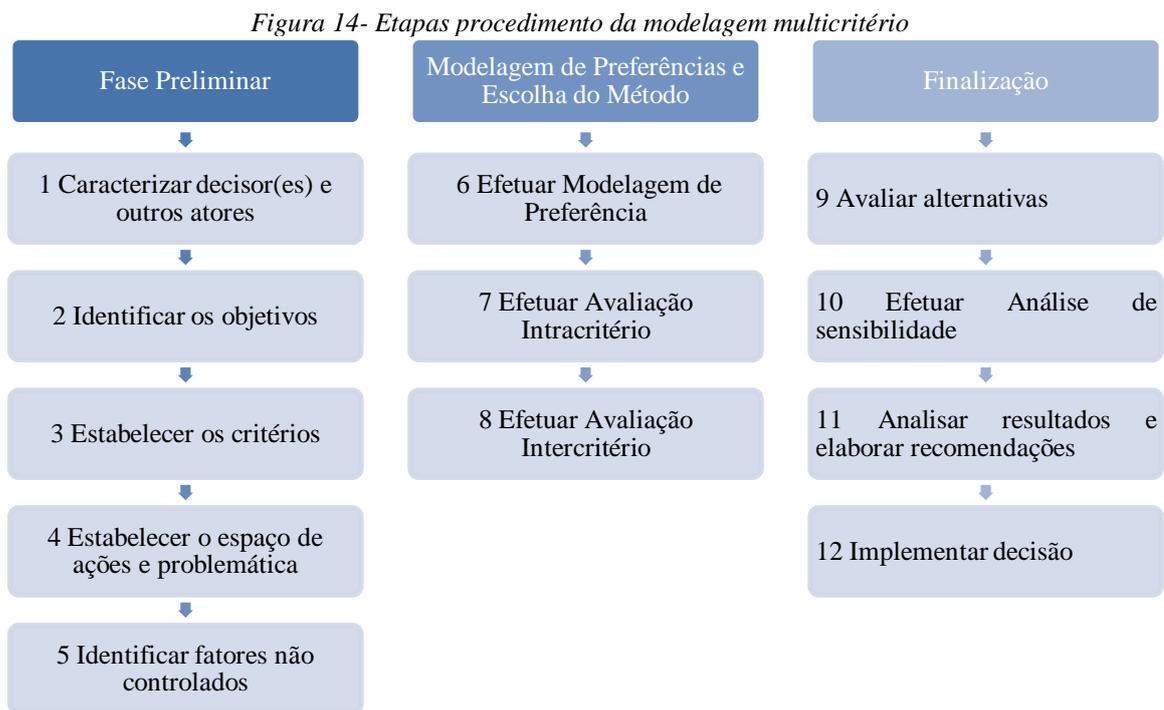
Com as análises desenvolvidas previamente, neste momento será desenvolvida a pesquisa sob o ponto de vista da abordagem de classificação. Ressaltando novamente a questão do tempo de atendimento, não será levado em consideração para a formulação do problema sob o ponto de vista da problemática de classificação, visto que é considerado o mesmo tempo para todos os produtos. Desta forma a avaliação entre os produtos não irá diferir com relação a este critério, e por este motivo ele não será considerado nesta etapa do estudo.

De acordo com Almeida *et al.* (2016) há uma sequência de passos que devem ser seguidos para que o problema seja bem formulado, o que orienta a análise e resultados robustos e coerentes com o objetivo do problema.

O procedimento é composto de doze etapas fragmentado em três fases. A primeira fase chamada de fase preliminar é composta de cinco etapas e pode impactar em todo o processo, corresponde à fase de identificação dos atores do processo decisório, definição dos objetivos, estabelecimento dos critérios que serão utilizados para avaliar as alternativas, definição do espaço de ações e da problemática. É nesta primeira fase que ocorre a identificação dos fatores não controlados.

A segunda fase é composta de três etapas, responsável pela escolha do método e modelagem de preferência, as etapas são sequencialmente: efetuar a modelagem de preferência, efetuar avaliação intracritério e intercritério.

A última etapa, definida como finalização é formada por quatro etapas, são elas: avaliação das alternativas, análise de sensibilidade, análise de resultados e elaboração das recomendações e por fim, a implementação da ação, na Figura 14 é possível visualizar as fases assim como as etapas.



*Fonte: Adaptado de Almeida (2013)*

Desta forma a primeira fase consiste em definir aspectos relevantes e primordiais para o desenvolvimento do modelo.

A primeira etapa é definir os atores do processo decisório. Para este estudo vamos considerar o decisor, aquele que tem o poder de tomar a decisão, e o especialista, aquele que apoia o decisor. É importante ressaltar que para este problema, o responsável pela tomada de decisão é o gerente do armazém, logo a decisão será tomada de forma individual.

O objetivo será classificar os produtos em classes para posteriormente determinar a localização destes no armazém, para esta avaliação alguns critérios serão levados em consideração.

A abordagem FRP não utiliza o número de clientes como atribuidor de locais dos produtos em armazéns, porém o critério relacionado com o número de clientes que são

atendidos pelos produtos foi inserido no estudo, e este indicador será levado em consideração nas próximas aplicações, ou seja, classificação e GP.

Os critérios que serão utilizados para avaliar as alternativas vão ser: rentabilidade, giro de estoque, demanda e clientes atendidos.

- Critério Rentabilidade ( $C_1$ )

Monroe (2003) diz que melhorar a lucratividade e a rentabilidade das empresas é objetivo de todo o gestor. Wernke & Lembeck (2004) enfatizam que analisar a rentabilidade individual dos produtos pode contribuir para que o gestor identifique possíveis alternativas para otimizar o desempenho dos itens com menor margem de contribuição.

Segundo Bruni & Famá (2008), um dos objetivos da gestão deve ser a rentabilidade, tendo como objetivo principal da empresa ganhar dinheiro. Cabe ressaltar que análises com base nos desempenhos de rentabilidade possibilitam comparar resultados contábeis com valores provenientes do capital investido (TEIXEIRA & AMARO, 2013)

Sendo assim, considerar a alocação dos produtos com rentabilidade alta na FA, corresponde a atender a demanda por estes produtos mais rapidamente, logo, garantir a satisfação dos clientes que necessitam desses produtos.

A rentabilidade será considerada na abordagem de classificação, os produtos com melhor rentabilidade serão considerados potenciais a estarem alocados na FA, visto que trarão um melhor resultado financeiro para a organização. O conceito de rentabilidade está aliado ao valor recebido considerando o valor investido. Este quociente resulta no indicador de rentabilidade.

Para este estudo a rentabilidade será definida como alta, média ou baixa, desta forma que será avaliada entre os produtos.

- Critério Giro de Estoque ( $C_2$ )

Há diversas definições para giro de estoque na literatura. Conforme Dias (1986) é a média de entrada e saída de um item em estoque, geralmente calculada pela média de venda do mesmo período do ano anterior.

De acordo com Kesavan *et. al.* (2014) pesquisas recentes no gerenciamento de operações examinaram as diferenças de desempenho em organizações que apresentam altos e baixos giros de estoque.

Conforme Ganesi & Biazzi (2011) quanto maior o nível de serviço desejado, maior deverá ser o nível de estoques e, conseqüentemente, menor o giro.

A definição de Giro de Estoque para o estudo é:

$$Giro = \frac{Estoque}{Demanda \text{ para o período de picking}}$$

Para o índice de giro de estoque o ideal é que este seja igual a 1, visto que a quantidade de estoque disponível, é a mesma quantidade de produtos demandados por período de *picking*. Quanto menor o índice, mais urgente será a necessidade pelos produtos. Como por exemplo: se determinado produto tem 100 unidades de carga em estoque e sua demanda para o período de picking é 200, logo o giro é 0,5; este produto tem uma necessidade maior que a disponibilidade, logo quanto mais baixo esse índice, maior é a necessidade pelo produto.

- Critério Demanda (C3)

O ideal seria a perfeita sincronização entre oferta e demanda, de maneira a tornar a manutenção de estoques desnecessária. Porém, como estes fatores estão envolvidos de incerteza, tanto a demanda, sendo impossível de determinar exatamente a quantidade de produtos que serão requeridos pelos clientes, assim como a oferta visto que nem sempre os suprimentos estão disponíveis a qualquer momento, torna-se necessário armazenar estoque para assegurar a disponibilidade de mercadorias e minimizar os custos totais de produção e distribuição (SANTIN *et. al.*, 2004)

De acordo com Dasgupta (2007), o atendimento da demanda ajuda na disponibilidade de produtos dos clientes, o que, por sua vez, resulta em conveniência do cliente e, portanto, na satisfação do mesmo.

A demanda é considerada a necessidade de produtos durante o período de *picking*. O critério demanda foi inserido devido à importância desta para as atividades do armazém, bem como para o desempenho da organização perante os clientes. Um planejamento ineficiente da cadeia de suprimentos pode gerar um impacto no atendimento da demanda e conseqüentemente provocar perda de venda, afetando o conceito da empresa, fidelidade de seus clientes, e obviamente, impactos no resultado financeiro, visto que venda perdida não ser recupera.

- Critério Clientes Atendidos (C4)

Quantidade de clientes que são atendidos/solicitam determinados produtos durante o período de *picking*.

Segundo Gianesi & Biazzini (2011) entre os objetivos principais para a gestão dos estoques está maximizar o nível de serviço ou maximizar o atendimento da demanda pela disponibilidade do material em estoque.

O nível de serviço está ligado com a experiência relativa que o cliente mantém com a organização, desde a realização do pedido até a entrega do produto. Desta forma, o critério de

clientes atendidos está diretamente ligado com a maximização do nível de serviço, pois quanto mais clientes são atendidos pelos produtos na FA, esse atendimento será mais rápido, logo com um nível de serviço satisfatório.

Para Ballou (2006), serviço ao cliente

Refere-se especificamente à cadeia de atividades de satisfação das vendas, a qual, usualmente, começa com a entrada do pedido e termina com a entrega do produto ao cliente; em alguns casos, continuando com o serviço de manutenção ou de equipamento, ou outro suporte técnico.

Ainda conforme este autor será considerado que o serviço ao cliente pode ser impactado pela atividade de *order picking*, no sentido de produtos disponíveis na FA terão suas listas de *picking* atendidas mais rapidamente, fazendo com que o tempo de atendimento ao cliente seja menor, desta forma prestando um melhor serviço ao comprador.

Assim, pode-se elencar os critérios de: clientes atendidos e demanda; assim como o índice de giro de estoque, considerando que estes, desde que bem atendidos, contribuirão para um serviço ao cliente de melhor qualidade. Com relação à ordem de preferência dos critérios, para a rentabilidade será utilizado o valor 1 para produtos classificados com rentabilidade alta; 0,5 para produtos classificados com rentabilidade média; e 0 para os produtos classificados com rentabilidade baixa. Para o critério de giro, quando menor o valor, melhor, visto que significa que o produto tem grande demanda perante o estoque disponível. Para os critérios demanda e clientes atendidos, quanto maior os índices, melhor o desempenho. Como pode ser visto na Tabela 6

*Tabela 6 – Ordem de preferência dos critérios*

Critério	Descrição	Ordem de Preferência
1	Rentabilidade	Crescente
2	Giro	Decrescente
3	Demanda	Crescente
4	Clientes Atendidos	Crescente

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

Partindo para a próxima etapa da primeira fase da construção do modelo, com relação ao conjunto de alternativas, temos seis conjuntos de alternativas diferentes, visto que serão analisadas diferentes situações, considerando a quantidade de diferentes produtos a serem avaliados e com relação à capacidade da área da frente. Desta forma, o conjunto de alternativas se resume ao conjunto de produtos que estão sendo analisados nos respectivos

cenários.

Os cenários que serão analisados vão variar conforme capacidade da FA e quantidade de produtos que são acondicionados no armazém, conforme explicitado na Tabela 7.

*Tabela 7 – Cenários*

Capacidade FA	Qnt de Produtos	Qnt de Produtos	Qnt de Produtos
10.000	10	20	25
15.000	10	20	25

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

A problemática de classificação foi escolhida para resolução deste problema devido a ser um método alternativo ao problema, onde os produtos serão inseridos em classes conforme os desempenhos apresentados e é importante enfatizar que dentro da classe não há diferença entre os produtos. Vale ressaltar que após a classificação dos produtos, será feita a alocação dos mesmos no armazém, conforme classificação, e então será considerada a restrição de espaço da FA. A intenção desta classificação é aplicar um filtro para definir que produtos irão compor a FA.

A última etapa da primeira fase consiste em identificar os fatores não controlados pelo decisor que podem impactar o problema.

Seguindo para a segunda fase, será feita a modelagem de preferência e escolha do método. De acordo com as características do problema, este pode ser classificado como de características não compensatórias, pois para esta abordagem um desempenho superior em determinado critério não compensará o desempenho inferior em outro critério. Para a abordagem que será utilizada neste estudo será avaliado o desempenho das alternativas em cada critério, considerando o peso como a representação do grau de importância do critério que está sendo avaliado.

De acordo com Almeida (2013), um modelo de preferência é uma representação formal de comparação de elementos. A estrutura de preferência que será utilizada no estudo atual será estrutura (P, I, R), ou seja, preferência estrita, indiferença e incomparabilidade. Esta estrutura apresenta duas relações simétricas, e uma assimétrica, preferência.

Progredindo na segunda fase, a próxima etapa é efetuar a avaliação intracritério, que para este estudo será o procedimento de normalização de divisão pelo valor máximo, onde os valores obtidos para a função valor estão entre o intervalo de 1 e 0.

Para a avaliação intercritério existem vários procedimentos para elicitação dos pesos.

Para este estudo os pesos representam a importância relativa de cada critério e serão determinadas de forma arbitrária baseado em uma possível análise do decisor. O peso de cada um dos critérios deve ser definido pelo decisor, em casos em que o decisor não apresenta certeza acerca do valor exato, também é possível definir um intervalo.

O mesmo processo foi feito para todos os cenários, considerando todos os critérios. Os valores obtidos para os pesos foram definidos conforme Tabela 8.

*Tabela 8 – Avaliação Intracritério*

Cenários	Critério1	Critério2	Critério3	Critério4
10.000/10	0,365714	0,274286	0,205714	0,154286
10.000/20	0,365714	0,274286	0,205714	0,154286
10.000/25	0,415584	0,311688	0,155844	0,116883
15.000/10	0,616867	0,231325	0,086747	0,0650602
15.000/20	0,667536	0,250326	0,0469361	0,0352021
15.000/25	0,694002	0,260251	0,0243985	0,0213487

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

Para a avaliação das alternativas foi utilizado o PROMSORT, baseado no PROMETHEE. O PROMETHEE é um método de decisão multicritério desenvolvido por Brans *et al.* (1986).

De acordo com Brans & Mareschal (2005) os métodos da família PROMETHEE são desenvolvidos em dois momentos: primeiro a construção de uma relação de sobreclassificação, reunindo as informações entre as alternativas e os critérios, e pesquisa dessa ligação para apoio à decisão.

De acordo com Araz & Ozkarahan (2007), os métodos multicritério da família PROMETHEE, consideram critérios a serem maximizados ou minimizados de forma não compensatória, desta forma um desempenho baixo em um dos critérios não é compensado por um desempenho de alto valor em outro critério.

Para Behzadian *et al.* (2009), algumas aplicações do método PROMETHEE podem ser feitas em diversos tipos de problemática, incluindo a de classificação.

O método que será utilizado neste estudo é baseado no PROMETHEE desenvolvido por Araz & Ozkarahan (2005), Araz & Ozkarahan (2007) chamado PROMSORT que significa a união entre PROMETHEE e *Sorting* (Classificação com ordem de preferência).

O PROMSORT é rotulado por Araz & Ozkarahan (2007) como um método MSC (*Multicriteria Sorting*), e o método é aplicado para classificar as alternativas em

categorias/classes que foram ordenadas de maneira prévia.

A atribuição de uma alternativa  $a$  para uma determinada categoria é realizada usando ambos os perfis que definem os limites da categoria e as alternativas de referência em diferentes etapas.

Araz & Ozkarahan (2007) considerando  $G$  um conjunto de critérios  $g_1, g_2, \dots, g_j$  ( $G = \{1, 2, \dots, j\}$ ) e  $B$  um conjunto de perfis limites que discriminam  $k+1$  categorias ( $B = \{1, 2, \dots, k\}$ ).  $b_h$  representa o limite superior da categoria  $C_h$  e o limite inferior da categoria  $C_{h+1}$ ,  $h = 1, 2, \dots, k$ . Assumindo que  $C_2 > C_1$  significa que a Categoria 2 sobreclassifica a Categoria 1, o conjunto de perfis ( $B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$ ) deve ter as propriedades abaixo:

$$[b_k P b_{k-1}], [b_{k-1} P b_{k-2}], \dots, [b_2 P b_1]$$

Esta propriedade evidencia que as categorias podem ser ordenadas e discriminadas. Assumindo a preferida para menos, a seguinte condição ajuda a obter as categorias ordenadas e distintas:

$$\forall j, \forall h = 1, \dots, k - 1, g_j(b_{h+1}) \geq g_j(b_h) + p_j.$$

A comparação entre dois perfis limites  $b_{h-1}$  e  $b_h$ , que distingue as categorias  $C_{h-1}$ ,  $C_h$ ,  $C_{h+1}$ , é realizada utilizando o método PROMETHÉE

Segundo Araz & Ozkarahan (2007), o PROMSORT realiza a distribuição das alternativas nas categorias em três etapas:

1. Construção da relação de sobreclassificação das alternativas usando o método PROMETHEE I;
2. Usa-se as relações de sobreclassificação para atribuir as alternativas nas categorias, exceto as situações de incomparabilidade e indiferença.
3. Atribuição final das alternativas com base na comparação par a par.

Após a aplicação do PROMSORT através do *software* Visual PROMETHEE os produtos serão classificados e posteriormente alocados na FA, conforme sua classificação, e obedecendo a capacidade disponível.

#### 4.4 Síntese Conclusiva

Após desenvolver a modelagem para o FRP conforme as abordagens multicritério para a *goal programming* e para o problema de classificação foi possível obter a modelagem de ambos para aplicação ao problema FRP. As equações (3.2), (3.4) foram aplicadas aos dados do problema, assim como os passos necessários para a aplicação do PROMSORT e os resultados da aplicação serão apresentados no capítulo 5.

## 5 APLICAÇÃO: FRP, GOAL PROGRAMMING E PROMSORT

Para as simulações foram consideradas três variações de quantidade de produtos diferentes estocados durante os períodos: 10; 20 e 25 itens, além de serem considerados armazéns com capacidade de 10.000 e 15.000 unidades de armazenamento.

Os resultados apresentados abaixo foram obtidos a partir da utilização das equações desenvolvidas no capítulo 4.

Para a abordagem clássica B-FRP foi utilizada a equação (2), para o cálculo da abordagem *goal programming* foi utilizada a equação (4) e para a abordagem de classificação com a aplicação do PROMSORT foram aplicados os passos necessários com o auxílio do *software* Visual PROMETHEE.

Para calcular os indicadores de ocupação a equação (6) foi utilizada.

$$Ocupação = \frac{\sum_{i=1}^N \text{Estoque Atual FA} + \sum_{i=1}^N \text{Estoque destinado FA}}{V} \quad (6)$$

O cálculo do tempo gasto foi feito com base nas quantidades destinadas a FA e RA, assim como considerando os tempos para alocação dos produtos nas respectivas áreas do armazém. Os indicadores de atendimento da demanda e do atendimento dos clientes, foi feito considerando a porcentagem de clientes e da demanda que será atendida, considerando os produtos que foram alocados na FA.

### 5.1 Abordagem *forward reserve problem* (FRP)

A seguir serão apresentados os resultados da aplicação da abordagem B-FRP, ou seja, a forma clássica do problema, onde o objetivo é minimizar o tempo para alocação de produtos, conforme função objetivo apresentada pela equação (2). Nesta abordagem a informação é disponibilizada ao decisor ao final da análise, sendo à saída do processo o relatório com a determinação dos produtos que devem ser alocados na FA e suas quantidades.

As informações que constam nas Tabelas que serão apresentadas a posteriori foram obtidas da seguinte forma:

- Produtos: Caracterização do produto, dependendo do cenário pode variar de 1 a 25. Pode ser utilizada como P1 até P25.
- Estoque da FA: Quantidade de produtos que já estão alocados na FA.

- Demanda: Quantidade do produto que está disponível para alocação no armazém
- FO: Cálculo da função objetivo, baseada na equação (2)
- Destinado FA: Quantidade de produto que será alocado na FA.
- Clientes Atendidos: Montante de clientes que são atendidos por aquele produto específico. Por exemplo, no caso da Tabela 9, 23 clientes solicitam o produto 1.

As colunas FO e Destinado a FA são as únicas que são calculadas pelo estudo, as demais colunas são obtidas através de dados aleatórios gerados pelo Microsoft Excel para as simulações. A coluna FO representa o cálculo da função objetivo do FRP.

Os mesmos produtos serão considerados para os cenários de 10.000 unidades de carga na FA, para 10, 15 e 25 produtos. E da mesma forma foi considerado para os cenários de 15.000 unidades de carga disponíveis.

Considerando inicialmente o cenário onde a FA tem capacidade para 15.000 unidades de carga. Para esta análise os produtos 2, 3, 7 e 9 foram destinados a RA, como apresentado na Tabela 9. Sendo assim o tempo gasto para destinação dos produtos no armazém foi de 77,9 horas, com uma ocupação da FA de 29,13%. Com relação ao atendimento dos clientes 71% foram atendidos, e 76,5% da demanda foi cumprida.

*Tabela 9 – Resultados aplicação FRP, FA 15.000/10 Produtos*

Produtos	Estoque na FA (unidades)	Pi (Demanda) (unidades)	FO (Minutos)	Destinado a FA (unidades)	Clientes Atendidos
P1	448	330	330	330	23
<b>P2</b>	<b>258</b>	<b>388</b>	<b>776</b>	<b>0</b>	<b>23</b>
<b>P3</b>	<b>117</b>	<b>199</b>	<b>398</b>	<b>0</b>	<b>10</b>
P4	271	319	559	319	22
P5	117	71	71	71	44
P6	427	403	403	403	48
<b>P7</b>	<b>214</b>	<b>320</b>	<b>640</b>	<b>0</b>	<b>24</b>
P8	378	198	198	198	14
<b>P9</b>	<b>254</b>	<b>423</b>	<b>846</b>	<b>0</b>	<b>15</b>
P10	267	298	453	298	19

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

Com o objetivo de minimizar o tempo de alocação dos produtos, considerando agora uma FA de capacidade 10.000 unidades de carga, apenas os produtos 1 e 2, foram destinados a RA, conforme Tabela 10. Desta forma o tempo total gasto para alocação dos produtos foi 78,7 horas, e a FA foi preenchida em 51,48%. Atendendo 67% dos seus clientes, e suprindo a

demanda em 74%.

*Tabela 10 – Resultados aplicação FRP, FA 10.000/10 Produtos*

Produtos	Estoque na FA (unidades)	Pi (Demanda) (unidades)	FO (Minutos)	Destinado a FA (unidades)	Clientes Atendidos
<b>P1</b>	<b>72</b>	<b>493</b>	<b>986</b>	<b>0</b>	<b>26</b>
<b>P2</b>	<b>118</b>	<b>242</b>	<b>484</b>	<b>0</b>	<b>42</b>
P3	451	455	475	455	20
P4	393	484	939	484	2
P5	200	328	518	328	42
P6	393	452	747	452	18
P7	477	127	127	127	47
P8	300	55	55	55	16
P9	223	38	38	38	22
P10	285	297	357	297	41

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

Para o contexto em que o armazém trabalha com o recebimento de um mix de 20 produtos e com capacidade de 15.000 unidades de carga, apenas 5 produtos são destinados a RA, são eles: 2, 3, 7, 9 e 17. Desta forma 62,39% da capacidade da FA é ocupada, sendo gasto 141,73 horas para executar esta alocação de produtos. No tocante ao atendimento aos clientes 81,2% de sua totalidade é atendida e 80,5% da demanda é satisfeita. Os dados relacionados a estes cenários são apresentados na Tabela 11.

*Tabela 11 – Resultados aplicação FRP, FA 15.000/20 Produtos*

Produtos	Estoque na FA (unidades)	Pi (Demanda) (unidades)	FO (Minutos)	Destinado a FA (unidades)	Clientes Atendidos
P1	448	330	330	330	16
<b>P2</b>	<b>258</b>	<b>388</b>	<b>776</b>	<b>0</b>	<b>12</b>
<b>P3</b>	<b>117</b>	<b>199</b>	<b>398</b>	<b>0</b>	<b>14</b>
P4	271	319	559	319	17
P5	117	71	71	71	5
P6	427	403	403	403	37
<b>P7</b>	<b>214</b>	<b>320</b>	<b>640</b>	<b>0</b>	<b>42</b>
P8	378	198	198	198	25
<b>P9</b>	<b>254</b>	<b>423</b>	<b>846</b>	<b>0</b>	<b>37</b>

P10	267	298	453	298	19
P11	234	255	360	255	25
P12	373	149	149	149	19
P13	210	254	474	254	49
P14	331	214	214	214	20
P15	280	325	550	325	27
P16	327	73	73	73	14
<b>P17</b>	<b>262</b>	<b>370</b>	<b>740</b>	<b>0</b>	<b>35</b>
P18	384	445	750	445	34
P19	312	282	282	282	9
P20	130	148	238	148	29

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

Para a situação na qual o armazém comporta apenas 10.000 unidades de carga na FA, 7 produtos serão destinados a RA, são eles 1, 2, 11, 13, 15, 18 e 19. Os demais produtos devem ser alocados na FA. O tempo gasto para a operação é 160,7 horas, atendendo a demanda em 60,7%. E com uma ocupação do espaço em 92,59%. As informações detalhadas são apresentadas na Tabela 12.

*Tabela 12 – Resultados aplicação FRP, FA 10.000/20 Produtos*

Produtos	Estoque na FA (unidades)	Pi (Demanda) (unidades)	FO (Minutos)	Destinado a FA (unidades)	Clientes Atendidos
<b>P1</b>	<b>72</b>	<b>493</b>	<b>986</b>	<b>0</b>	<b>26</b>
<b>P2</b>	<b>118</b>	<b>242</b>	<b>484</b>	<b>0</b>	<b>42</b>
P3	451	455	475	455	20
P4	393	484	939	484	2
P5	200	328	518	328	42
P6	393	452	747	452	18
P7	477	127	127	127	47
P8	300	55	55	55	16
P9	223	38	38	38	22
P10	285	297	357	297	41
<b>P11</b>	<b>103</b>	<b>459</b>	<b>918</b>	<b>0</b>	<b>44</b>
P12	466	315	315	315	9
<b>P13</b>	<b>156</b>	<b>354</b>	<b>708</b>	<b>0</b>	<b>22</b>
P14	431	156	156	156	40
<b>P15</b>	<b>84</b>	<b>209</b>	<b>418</b>	<b>0</b>	<b>13</b>

P16	311	198	198	198	30
P17	428	327	327	327	10
<b>P18</b>	<b>29</b>	<b>279</b>	<b>558</b>	<b>0</b>	<b>11</b>
<b>P19</b>	<b>181</b>	<b>302</b>	<b>604</b>	<b>0</b>	<b>8</b>
P20	440	486	716	486	6

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

A última configuração a ser analisada é com relação ao mix de 25 produtos, no tocante às duas capacidades disponíveis para a FA, a apresentação das informações estão nas Tabelas 5.5 e 5.6.

Para a circunstância em que 25 produtos diferentes são recepcionados pelo armazém, sete produtos são destinados a RA. O tempo gasto para manter preenchida 79,95% da FA é de 183,4 horas. Nesta operação 75% dos clientes são atendidos, e a demanda é atingida em 78,9%.

Tabela 13 – Resultados aplicação FRP, FA 15.000/25 Produtos

Produtos	Estoque na FA (unidades)	Pi (Demanda) (unidades)	FO (Minutos)	Destinado a FA (unidades)	Clientes Atendidos
P1	448	330	330	330	42
<b>P2</b>	<b>258</b>	<b>388</b>	<b>776</b>	<b>0</b>	<b>24</b>
<b>P3</b>	<b>117</b>	<b>199</b>	<b>398</b>	<b>0</b>	<b>49</b>
P4	271	319	559	319	26
P5	117	71	71	71	35
P6	427	403	403	403	33
<b>P7</b>	<b>214</b>	<b>320</b>	<b>640</b>	<b>0</b>	<b>40</b>
P8	378	198	198	198	5
<b>P9</b>	<b>254</b>	<b>423</b>	<b>846</b>	<b>0</b>	<b>26</b>
P10	267	298	453	298	10
P11	234	255	360	255	39
P12	373	149	149	149	48
P13	210	254	474	254	26
P14	331	214	214	214	41
P15	280	325	550	325	30
P16	327	73	73	73	23
<b>P17</b>	<b>262</b>	<b>370</b>	<b>740</b>	<b>0</b>	<b>13</b>
P18	384	445	750	445	10
P19	312	282	282	282	4

P20	130	148	238	148	15
P21	472	443	443	443	21
P22	362	341	341	341	11
<b>P23</b>	<b>319</b>	<b>450</b>	<b>900</b>	<b>0</b>	<b>44</b>
P24	173	161	161	161	9
<b>P25</b>	<b>213</b>	<b>327</b>	<b>654</b>	<b>0</b>	<b>43</b>

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

Para concluir a aplicação do B-FRP, a Tabela 14 apresenta os resultados para a operação com 25 tipos de produtos e 10.000 de capacidade de FA. Devido ao maior volume de produtos, neste caso a maioria dos produtos será destinada a RA, visto que a capacidade da FA será excedida de maneira célere. Os produtos 1, 2, 11, 13, 15, 18, 19, 21, 22, 23, 24 e 25 foram destinados a RA. O tempo gasto foi 211,8 horas para a alocação dos produtos, a ocupação da FA foi de 98,04%, porém o atendimento da demanda foi de 51,5%, uma vez que muitos produtos foram para a RA.

Tabela 14 – Resultados aplicação FRP, FA 10.000/25 Produtos

Produtos	Estoque na FA (unidades)	Pi (Demanda) (unidades)	FO (Minutos)	Destinado a FA (unidades)	Cientes Atendidos
<b>P1</b>	<b>72</b>	<b>493</b>	<b>986</b>	<b>0</b>	<b>26</b>
<b>P2</b>	<b>118</b>	<b>242</b>	<b>484</b>	<b>0</b>	<b>42</b>
P3	451	455	475	455	20
P4	393	484	939	484	2
P5	200	328	518	328	42
P6	393	452	747	452	18
P7	477	127	127	127	47
P8	300	55	55	55	16
P9	223	38	38	38	22
P10	285	297	357	297	41
<b>P11</b>	<b>103</b>	<b>459</b>	<b>918</b>	<b>0</b>	<b>44</b>
P12	466	315	315	315	9
<b>P13</b>	<b>156</b>	<b>354</b>	<b>708</b>	<b>0</b>	<b>22</b>
P14	431	156	156	156	40
<b>P15</b>	<b>84</b>	<b>209</b>	<b>418</b>	<b>0</b>	<b>13</b>
P16	311	198	198	198	30
P17	428	327	327	327	10
<b>P18</b>	<b>29</b>	<b>279</b>	<b>558</b>	<b>0</b>	<b>11</b>

<b>P19</b>	<b>181</b>	<b>302</b>	<b>604</b>	<b>0</b>	<b>8</b>
P20	440	486	716	486	6
<b>P21</b>	<b>200</b>	<b>492</b>	<b>984</b>	<b>0</b>	<b>26</b>
<b>P22</b>	<b>80</b>	<b>231</b>	<b>462</b>	<b>0</b>	<b>9</b>
<b>P23</b>	<b>65</b>	<b>293</b>	<b>586</b>	<b>0</b>	<b>42</b>
<b>P24</b>	<b>120</b>	<b>280</b>	<b>560</b>	<b>0</b>	<b>39</b>
<b>P25</b>	<b>80</b>	<b>236</b>	<b>472</b>	<b>0</b>	<b>15</b>

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

Na subseção seguinte, serão apresentados os resultados referentes às abordagens GP e Multicritério. Vale considerar dois cenários distintos para a aplicação dessas abordagens. Quando o decisor não está presente, não quer contribuir, não tem tempo hábil para desenvolver o estudo, ou não tem condição de colaborar com a análise, a aplicação da GP é funcional, visto que esta abordagem não depende das preferências do decisor para ser desenvolvida. Em contrapartida, a análise multicritério modela a estrutura de preferência do decisor e considera esta avaliação na solução do problema.

É importante ressaltar que na abordagem B-FRP considera apenas o tempo para alocação dos produtos seja na FA ou na RA, assim como o tempo para reposição dos produtos, ou seja, a função objetivo, como visto anteriormente, reflete somente a importância do tempo para o problema. Dessa forma, espera-se que ao considerar outros critérios a avaliação dos mesmos seja melhor, comparativamente ao que foi obtido com a primeira abordagem. A seguir os resultados da aplicação da GP serão apresentados.

## 5.2 Goal programming

Para a aplicação da GP será considerada a meta de designar os produtos a FA, porém com uma restrição rígida e duas restrições, conforme explanado na equação (4).

As Tabelas apresentadas nesta aplicação apresentam seis colunas, conforme apresentadas abaixo:

- Produtos: Caracterização do produto, dependendo do cenário pode variar de 1 a 25. Pode ser utilizada como P1 até P25.
- Destinados a FA: Variável binária que poderá receber 1 ou 0, onde o 1 indica que o produto foi destinado a FA, e 0 que o produto foi destinado a RA.
- Abaixo: Comparativo entre a meta e o valor atingido, considerando o limite inferior.
- Acima: Comparativo entre a meta e o valor atingido, considerando o limite superior.

- Atingido: Valor obtido conforme a função objetivo
- Meta: Valor desejado, meta.

Os resultados obtidos a partir da aplicação da abordagem GP para o primeiro cenário, onde o decisor trabalha com um armazém de capacidade para 15.000 unidades de carga e o mix de 10 produtos, onde todos os artigos são destinados a FA. Desta forma todos os clientes são atendidos, assim como a demanda é suprida. Esta situação ocorre devido à quantidade de produtos para serem alocados é inferior à disponibilidade de espaço da FA, sendo assim, todos os materiais são destinados a FA, conforme pode ser visto na Tabela 15.

Vale ressaltar que o tempo gasto para a operação de alocação dos produtos na FA é de 67,83 horas.

*Tabela 15 – Resultados aplicação GP, FA 15.000/10 Produtos*

Produtos	Destinados a FA	Abaixo	Acima	Atingido	Valor Objetivo (Meta)
P1	1	0	0	1	1
P2	1	0	0	1	1
P3	1	0	0	1	1
P4	1	0	0	1	1
P5	1	0	0	1	1
P6	1	0	0	1	1
P7	1	0	0	1	1
P8	1	0	0	1	1
P9	1	0	0	1	1
P10	1	0	0	1	1
Restrição Clientes	290	0	0	290	290
Restrição Demanda	2949	0	0	2949	2949

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

O mesmo ocorre quando se trabalha com o armazém de capacidade 10.000 unidades de carga. Apesar da capacidade da FA cair para a metade, o volume de produtos que é manuseado ainda é bastante inferior à capacidade, sendo assim, todos os produtos são destinados a FA, conforme a Tabela 16. Todos os clientes são atendidos assim como a demanda é satisfeita. O tempo necessário para alocar todos os produtos na FA é de 78,65 horas.

Tabela 16 – Resultados aplicação GP, FA 10.000/10 Produtos

Produtos	Destinados a FA	Abaixo	Acima	Atingido	Valor Objetivo (Meta)
P1	1	0	0	1	1
P2	1	0	0	1	1
P3	1	0	0	1	1
P4	1	0	0	1	1
P5	1	0	0	1	1
P6	1	0	0	1	1
P7	1	0	0	1	1
P8	1	0	0	1	1
P9	1	0	0	1	1
P10	1	0	0	1	1
Restrição Clientes	276	0	0	276	276
Restrição Demanda	2971	0	0	2971	2971

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

Para o cenário, onde o decisor trabalha com o mix de 20 produtos, considerando inicialmente a configuração de 15.000 unidades de carga como capacidade da FA, o contexto com relação à alocação dos produtos permanece semelhante às demais analisadas anteriormente. Ainda existe espaço suficiente para a destinação de todos os produtos na FA, atendendo todos os clientes e respondendo à demanda de maneira completa. Com relação ao tempo gasto, 91,07 horas foram despendidas nesta atividade de alocação, conforme Tabela 17.

Tabela 17 – Resultados aplicação GP, FA 15.000/20 Produtos

Produtos	Destinados a FA	Abaixo	Acima	Atingido	Valor Objetivo (Meta)
P1	1	0	0	1	1
P2	1	0	0	1	1
P3	1	0	0	1	1
P4	1	0	0	1	1
P5	1	0	0	1	1
P6	1	0	0	1	1
P7	1	0	0	1	1
P8	1	0	0	1	1
P9	1	0	0	1	1
P10	1	0	0	1	1
P11	1	0	0	1	1
P12	1	0	0	1	1
P13	1	0	0	1	1
P14	1	0	0	1	1
P15	1	0	0	1	1

P16	1	0	0	1	1
P17	1	0	0	1	1
P18	1	0	0	1	1
P19	1	0	0	1	1
P20	1	0	0	1	1
Restrição Clientes	539	0	0	539	539
Restrição Demanda	5464	0	0	5464	5464

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

Para o cenário, onde o decisor trabalha com a configuração de 10.000 unidades de carga como capacidade da FA, o contexto com relação à alocação dos produtos muda, visto que não há espaço na FA para alocar todos os produtos. Sendo assim, o objetivo de atingir a meta reduz o valor das variáveis de desvio, com este objetivo os produtos a serem alocados na FA foram avaliados. Somente os produtos 4, 12, 17 e 20, foram destinados a RA, conforme Tabela 18. Para este caso, a restrição de espaço foi atendida em 99,9%; o atendimento da demanda foi atingindo em 73,4% e o indicador de atendimento dos clientes foi atingido em 94,2%.

*Tabela 18 – Resultados aplicação GP, FA 10.000/20 Produtos*

Produtos	Destinados a FA	Abaixo	Acima	Atingido	Valor Objetivo (Meta)
P1	1	0	0	1	1
P2	1	0	0	1	1
P3	1	0	0	1	1
<b>P4</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
P5	1	0	0	1	1
P6	1	0	0	1	1
P7	1	0	0	1	1
P8	1	0	0	1	1
P9	1	0	0	1	1
P10	1	0	0	1	1
P11	1	0	0	1	1
<b>P12</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
P13	1	0	0	1	1
P14	1	0	0	1	1
P15	1	0	0	1	1
P16	1	0	0	1	1
<b>P17</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
P18	1	0	0	1	1
P19	1	0	0	1	1
<b>P20</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Restrição Clientes	442	27	0	469	469

Restrição Demanda	4444	1612	0	6056	6056
-------------------	------	------	---	------	------

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

Considerando agora, a configuração em que o armazém trabalha com o mix de 25 produtos e com capacidade de 15.000 unidades de carga, a seleção para destinação dos produtos na FA será ainda mais rigorosa no tocante ao atingimento da meta.

Devido a quantidade de produtos a serem alocados não ser muito elevada, todos os produtos foram alocados na FA, conforme Tabela 19.

A decisão de alocar os produtos desta forma ocasionaria o uso do espaço disponível na FA em 95,5%. Esta operação teria uma duração de 119,77 horas.

*Tabela 19 – Resultados aplicação GP, FA 15.000/25 Produtos*

Produtos	Destinados a FA	Abaixo	Acima	Atingido	Valor Objetivo (Meta)
P1	1	0	0	1	1
P2	1	0	0	1	1
P3	1	0	0	1	1
P4	1	0	0	1	1
P5	1	0	0	1	1
P6	1	0	0	1	1
P7	1	0	0	1	1
P8	1	0	0	1	1
P9	1	0	0	1	1
P10	1	0	0	1	1
P11	1	0	0	1	1
P12	1	0	0	1	1
P13	1	0	0	1	1
P14	1	0	0	1	1
P15	1	0	0	1	1
P16	1	0	0	1	1
P17	1	0	0	1	1
P18	1	0	0	1	1
P19	1	0	0	1	1
P20	1	0	0	1	1
P21	1	0	0	1	1
P22	1	0	0	1	1
P23	1	0	0	1	1
P24	1	0	0	1	1
P25	1	0	0	1	1
Restrição Clientes	667	0	0	667	667

Restrição Demanda	7186	0	0	7186	7186
-------------------	------	---	---	------	------

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

Finalizando as análises de aplicação da WGP para o estudo do FRP observando o cenário para o armazém de 10.000 de capacidade e que trabalha com o mix de 25 produtos, a seleção para destinação dos produtos na RA será da seguinte forma: 1, 3, 4, 6, 11, 13, 20 e 21, conseqüentemente os demais, enviados para a FA, conforme Tabela 20. A decisão de alocar os produtos desta forma impacta em uma ocupação da FA em 99,9%, sendo assim, comprometendo as demais restrições devido à falta de espaço na FA. Os clientes atendidos seriam 72,7%, e a demanda 51,6%. O tempo necessário para executar esta operação de alocação dos produtos na FA e RA é de 187,72 horas.

Tabela 20 – Resultados aplicação GP, FA 10.000/25 Produtos

Produtos	Produtos FA	Abaixo	Acima	Atingido	Valor Objetivo (Meta)
<b>P1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
P2	1	0	0	1	1
<b>P3</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>P4</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
P5	1	0	0	1	1
<b>P6</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
P7	1	0	0	1	1
P8	1	0	0	1	1
P9	1	0	0	1	1
P10	1	0	0	1	1
<b>P11</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
P12	1	0	0	1	1
<b>P13</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
P14	1	0	0	1	1
P15	1	0	0	1	1
P16	1	0	0	1	1
P17	1	0	0	1	1
P18	1	0	0	1	1
P19	1	0	0	1	1
<b>P20</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>P21</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
P22	1	0	0	1	1
P23	1	0	0	1	1
P24	1	0	0	1	1
P25	1	0	0	1	1
Restrição Clientes	436	164	0	600	600

Restrição Demanda	3913	3675	0	7588	7588
-------------------	------	------	---	------	------

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

Na seção seguinte será aplicada a abordagem de classificação com aplicação do PROMSORT sob o escopo do FRP e em seguida os resultados serão apresentados e posteriormente analisados.

### 5.3 Problemática de Classificação

Para a problemática de classificação foi utilizado o *software* Visual PROMETHEE utilizando a função *PROMETHEE Sort* para aplicação junto aos dados obtidos de maneira aleatória para serem utilizados na simulação da pesquisa.

Antes de iniciar a aplicação do PROMSORT junto ao *software* é importante definir os grupos em que os produtos vão ser classificados.

- $C_1$ : Produtos de alta prioridade devido à importância com relação à rentabilidade, atendimento ao cliente e demanda. Produtos classificados como  $C_1$  sempre serão destinados a FA (Melhor categoria).
- $C_2$ : Produtos de desempenho regular que podem ser destinados a FA.
- $C_3$ : Produtos de desempenho baixo que não devem ser destinados a FA (Pior categoria).

É importante frisar que dentro da classe não há distinção entre os produtos.

Os produtos  $C_1$  devem ser destinados a FA, produtos a  $C_2$  podem ser destinados a FA, conforme a capacidade disponível e produtos  $C_3$  não devem ser destinados a FA, devido ao seu baixo desempenho. A alocação na FA deve ser respeitada conforme a classificação do produto e conforme a disponibilidade de capacidade da FA.

A resolução do FRP através da classificação será desenvolvida em duas etapas. Inicialmente será feita a classificação dos produtos, e baseado nesta classificação os produtos serão destinados a FA, obedecendo à restrição de capacidade.

Os dados de entrada foram inseridos no *software* Visual PROMETHEE, conforme tabelas apresentadas no APÊNDICE A e os resultados foram obtidos conforme figuras do APÊNDICE B.

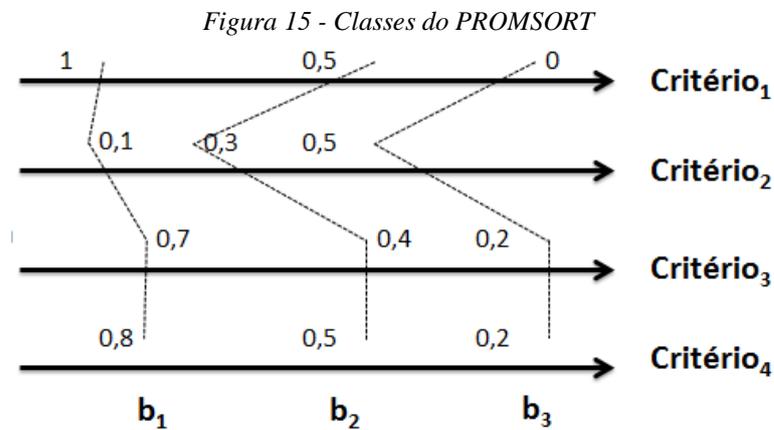
Os perfis limite das categorias foram apresentados conforme Tabela 21.

Tabela 21 – Perfis limite das categorias.

	Critério1	Critério2	Critério3	Critério4
C <sub>1</sub>	1	0,1	0,7	0,8
C <sub>2</sub>	0,5	0,3	0,4	0,5
C <sub>3</sub>	0	0,5	0,2	0,2

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

Os perfis limites das classes conforme Araz & Ozkarahan (2007) podem ser ilustrados conforme figura 15. Considerando  $b_1$ ,  $b_2$  e  $b_3$  os limites das classes em que as alternativas estarão classificadas.



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

Os valores dos perfis foram definidos de forma aleatória, visto que estes perfis devem ser definidos pelo decisor, como este estudo é uma simulação, esses valores consideram esse julgamento do decisor.

Apesar de a definição ter sido feita de forma aleatória, buscou-se estabelecer os mesmos de forma coerente. Para o critério 1 não houve como ajustar estes limites, visto que somente valores: 1; 0,5 e 0 foram possíveis. O critério 2 por sua vez, apresentando ordem de preferência decrescente, proporciona limites estreitos considerando 0,5 como o limite para  $b_3$ . O critério 2, foi o segundo critério que apresentou o maior peso, ou seja, importância relativa para todos os cenários analisados, conforme Tabela 8.

Para as definições dos perfis dos critérios 3 e 4 o propósito foi identificar como classe 1 os produtos que realmente se aproximassem do valor máximo (1,0), para os produtos de classe 2, aqueles que estivessem próximos no valor mediano, e para a classe 3, os desempenhos mais inferiores.

Com relação aos cenários estudados é importante frisar que para a abordagem de classificação, dentro das classes não há distinção entre os produtos. Caso o produto seja classificado como C<sub>1</sub>, todos os produtos desta classe serão considerados como iguais para fins de alocação na FA. Seria importante um tratamento destes produtos após a classificação visando diferencia-los uns dos outros, caso não haja capacidade disponível para alocação de todos os produtos na FA.

Os primeiros cenários, que foram analisados, foram considerando a FA com 10.000 e posteriormente 15.000 unidades de carga de capacidade, considerando 10 produtos no mix. A classificação dos produtos segue nas tabelas 5.14 e 5.15.

*Tabela 22 – Resultados aplicação PROMSORT 10.000/10 Produtos.*

C <sub>1</sub> : Produtos de alta prioridade (Melhor categoria).	P1 P2 P3 P4 P5 P6 P10
C <sub>2</sub> : Produtos de desempenho regular.	P7
C <sub>3</sub> : Produtos de desempenho baixo (Pior categoria).	P8 P9

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

Conforme a classificação, os produtos P8 e P9 vão ser destinados a RA, e os demais na FA, visto que há disponibilidade de espaço. Sendo assim o tempo gasto para alocação de todos os produtos será de 51,06 horas, atendendo a demanda em 96,9%, ocupando a FA em 57,9%, e com o atendimento ao cliente atingindo um percentual de 86%.

Conforme dados apresentados na Tabela 23, considerando a FA com capacidade de 15.000 unidades de carga, todos os produtos serão destinados a FA, nenhum produto foi classificado na C<sub>3</sub>. Considerando que há capacidade disponível para esta ação. Os indicadores desta operação são: tempo gasto na alocação dos produtos: 49,15 horas; demanda atendida: 100%; ocupação FA: 38%; clientes atendidos: 100%.

*Tabela 23 – Resultados aplicação PROMSORT 15.000/10 Produtos.*

C <sub>1</sub> : Produtos de alta prioridade (Melhor categoria).	P1 P2 P4 P6 P7 P9 P10
C <sub>2</sub> : Produtos de desempenho regular.	P3 P5 P8
C <sub>3</sub> : Produtos de desempenho baixo (Pior categoria).	

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

A Tabela 24 indica os produtos que devem ser destinados a FA no cenário de 10.000 unidades de carga de capacidade da FA, e 20 produtos possíveis para serem armazenados. Mesmo os produtos apresentados na C<sub>1</sub>, devido à restrição de capacidade, não podem ser alocados na FA, sendo assim, como dentro da classe não há distinção de produtos, o produto a ser alocado na FA, serão escolhidos conforme a restrição de capacidade. Desta forma os

indicadores foram: tempo gasto para alocação dos produtos 128,28 horas; atendimento da demanda 72,90%; clientes atendidos: 61,62% e percentual de ocupação da FA: 99,56%.

É importante considerar que nem todos os produtos da C<sub>1</sub> foram alocados na FA, devido a falta de capacidade. Sendo assim os produtos destinados a FA foram P1, P2, P3, P4, P5, P6, P10, P11, P12, P13, P15 e P17.

*Tabela 24 – Resultados aplicação PROMSORT 10.000/20 Produtos.*

C <sub>1</sub> : Produtos de alta prioridade (Melhor categoria).	P1 P2 P3 P4 P5 P6 P10 P11 P12 P13 P15 P17 P18 P19 P20
C <sub>2</sub> : Produtos de desempenho regular.	P7 P14 P16
C <sub>3</sub> : Produtos de desempenho baixo (Pior categoria).	P8 P9

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

A Tabela 25 indica os produtos que devem ser destinados a FA, com uma capacidade de FA de 15.000 e 20 possíveis tipos de produtos diferentes. Neste cenário todos os produtos serão destinados a FA, devido a disponibilidade de capacidade. Desta forma os indicadores foram: tempo gasto para alocação dos produtos 111,76 horas; atendimento da demanda 100%; clientes atendidos: 100% e percentual de ocupação da FA: 73,7%.

*Tabela 25 – Resultados aplicação PROMSORT 15.000/20 Produtos.*

C <sub>1</sub> : Produtos de alta prioridade (Melhor categoria).	P1 P2 P4 P6 P7 P9 P10 P11 P13 P15 P17 P18 P19
C <sub>2</sub> : Produtos de desempenho regular.	P3 P5 P8 P14 P20
C <sub>3</sub> : Produtos de desempenho baixo (Pior categoria).	P12 P16

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

As tabelas 5.18 e 5.19 apresentam os cenários com o maior mix de produtos possíveis para alocação, 25 produtos.

Para este cenário, devido à grande gama de produtos, a limitação de alocação da FA é grande. Somente os produtos classificados como C<sub>1</sub> foram destinados a FA, e mesmo assim, ainda 10 produtos (P15, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24 e P25) foram destinados a RA, devido à restrição de capacidade da FA.

Desta forma os indicadores foram: tempo gasto para alocação dos produtos 188,28 horas; atendimento da demanda 51,12%; clientes atendidos: 44,33% e percentual de ocupação da FA: 99,65%.

Tabela 26 – Resultados aplicação PROMSORT 10.000/25 Produtos.

C <sub>1</sub> : Produtos de alta prioridade (Melhor categoria).	P1 P2 P3 P4 P5 P6 P10 P11 P12 P13 P15 P17 P18 P19 P20 P21 P22 P23 P24 P25
C <sub>2</sub> : Produtos de desempenho regular.	P7 P14 P16
C <sub>3</sub> : Produtos de desempenho baixo (Pior categoria).	P8 P9

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

A Tabela 27 apresenta a maior configuração do armazém com a FA 15.000 e trabalhando um mix de 25 produtos. Devido a quantidade de produtos a serem alocados na FA ser de 7.186 em sua totalidade, e a disponibilidade da FA ser de 7.867 unidades de carga, foi possível alocar todos os produtos na FA.

Desta forma os indicadores foram: tempo gasto para alocação dos produtos 119,76 horas; atendimento da demanda 100%; clientes atendidos: 100% e percentual de ocupação da FA: 95,5%.

Tabela 27 – Resultados aplicação PROMSORT 15.000/25 Produtos.

C <sub>1</sub> : Produtos de alta prioridade (Melhor categoria).	P1 P2 P4 P6 P7 P9 P10 P11 P13 P15 P17 P18 P19 P21 P22 P23 P25
C <sub>2</sub> : Produtos de desempenho regular.	P3 P5 P8 P14 P20 P24
C <sub>3</sub> : Produtos de desempenho baixo (Pior categoria).	P12 P16

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

Na etapa a seguir serão apresentados os resultados e análises das aplicações expostas neste capítulo. Algumas investigações serão feitas para ampliar as observações realizadas nesta etapa do estudo.

## 5.4 Resultados e análises

### 5.4.1 Cenário 1 – FRP

A primeira análise a ser feita é com relação aos tempos calculados através da minimização do tempo total, ou seja, da função objetivo do modelo. Vale ressaltar, que o tempo calculado é o somatório entre os tempos de *order picking* para FA, para RA e para reabastecimentos. É possível identificar que os tempos são decrescentes conforme a quantidade de produtos manipulados no armazém é reduzida, é um comportamento lógico, visto que existem menos produtos para alocação, esta redução de tempo irá acontecer.

É importante salientar que os valores relacionados à quantidade de produtos a serem alocados, demanda e quantidade de produtos em estoque foi diferente para essas análises visto que o objetivo não é comparar os desempenhos entre as diferentes capacidades, e sim os resultados entre as diferentes abordagens para tratar o problema, considerando a presença e influência do decisor.

De acordo com a Tabela 28, é possível identificar um comportamento crescente com relação ao tempo gasto para o cenário de 15.000 unidades de carga de capacidade. O comportamento é crescente conforme a quantidade de produtos vai aumentando. Para a outra configuração, é irregular o comportamento, ocorre devido à alocação de produtos na RA e necessidade de reposição dos produtos *a posteriori*.

Tabela 28 – Resultados aplicação FRP, tempo gasto.

Capacidade	10.000			15.000		
Produtos	10	20	25	10	20	25
Tempo Gasto (h)	78,77	160,73	211,80	77,90	141,73	183,38

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

A segunda análise feita foi no tocante a ocupação da FA considerando os produtos que foram destinados a esta área do armazém, calculados através da equação (6).

É possível detectar que a ocupação é otimizada conforme a variação de produtos disponíveis no armazém aumenta, conforme pode ser visto na Tabela 29.

Quando é analisada a variedade de 20 e 10 produtos, o armazém de capacidade de 10.000 unidades de carga a ocupação foi superior quando comparada com o armazém de 15.000 unidades de carga.

Tabela 29 – Resultados aplicação FRP, ocupação FA.

Capacidade	10.000			15.000		
Produtos	10	20	25	10	20	25
Ocupação FA (%)	51,48	92,59	98,04	29,13	62,39	78,95

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

Com relação ao indicador de ocupação da área da frente, o cenário que analisa o armazém com capacidade de 10.000 produtos apresenta um melhor desempenho com relação a todas as quantidades de produtos analisados.

A terceira análise está relacionada com o número de clientes atendidos pelos produtos destinados a área da frente. Este indicador está sendo analisando devido a seguinte questão: os produtos que estão destinados na área da frente, sendo recolhidos rapidamente, devido a sua

proximidade com a saída do armazém, logo estes clientes serão atendidos com maior rapidez. Considera-se que os clientes que serão atendidos com produtos destinados à RA demorarão mais tempo para serem atendidos, desta forma, será feita uma avaliação verificando a porcentagem de clientes atendidos pelos produtos destinados a área da frente, visto que o objetivo é atender ao máximo de clientes através de produtos alocados na área da frente. Os dados referentes a esta análise são apresentados na Tabela 30.

*Tabela 30 – Resultados aplicação FRP, clientes.*

Capacidade	10.000			15.000		
Produtos	10	20	25	10	20	25
Cientes (%)	67,4	59,9	48,3	71,5	81,24	75

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

A quarta e última análise para esta modelagem, foi o indicador de atendimento de demanda. Este indicador representa a relação entre a demanda e a quantidade de produtos destinados a FA. Vale destacar que está se considerando o atendimento da demanda somente pelos produtos destinados a FA. Este indicador será mais explorado na seção seguinte, no momento da aplicação da GP.

*Tabela 31 – Resultados aplicação FRP, demanda.*

Capacidade	10.000			15.000		
Produtos	10	20	25	10	20	25
Atendimento da demanda (%)	74,00	60,8	51,5	76,5	80,55	78,9

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

É importante lembrar que a abordagem FRP não utiliza o número de clientes como variável para definição da área de alocação dos produtos em armazéns. Considerando que este indicador é relevante para este tipo de decisão, esta variável será considerada para a abordagem *goal programming*.

Um comportamento importante acerca do modelo FRP é com relação aos produtos que necessitam de reposição, ou seja, produtos destinados à área da frente, se necessária uma reposição simultânea no caso em que a demanda do produto é superior a quantidade de produto disponível na área da frente, esta é feita. Com relação a produtos que precisam de reposição antecipada, devido tempo referente à *order picking* para reposição ser muito superior aos demais, esta alternativa não é muito satisfatória, visto que o objetivo total é reduzir o tempo da atividade de *picking*.

O resumo das análises feitas através da aplicação do FRP segue conforme Tabela 32.

*Tabela 32 – Resultados aplicação FRP.*

Cenários	Demanda		Clientes		Tempo Gasto(h)		Ocupação FA	
	10.000	15.000	10.000	15.000	10.000	15.000	10.000	15.000
10	74,0%	76,5%	67,4%	71,5%	78,77	77,90	51,48%	29,13%
20	60,8%	80,55%	59,9%	81,24%	160,73	141,73	92,59%	62,39%
25	51,5%	78,9%	48,3%	75,0%	211,80	183,38	98,04%	78,95%

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

Após a aplicação e interpretação dos resultados apresentados através da abordagem FRP, posteriormente será utilizada a abordagem de *goal programming*, para verificar os resultados apresentados visando identificar uma nova maneira de resolver o problema de alocação de produtos em armazéns com área da frente e área reserva.

#### 5.4.2 Cenário 2 – Goal programming

Após a aplicação do modelo matemático é o momento de analisar os resultados disponíveis após o uso da referida metodologia.

O primeiro indicador a ser analisado será o tempo gasto para *order picking*, conforme resultado que se apresenta através da Tabela 33. O resultado quanto à análise do tempo gasto é um ponto importante que merece atenção. Para o cenário de 10.000, a alocação quando se tem 20 produtos disponíveis é mais demorada, comparando-se à alocação de 25 produtos. Isso se deve a questão da alocação de produtos na área reserva que é o dobro do tempo necessário.

*Tabela 33 – Resultados aplicação GP, tempo gasto.*

Capacidade	10.000			15.000		
Produtos	10	20	25	10	20	25
Tempo Gasto (h)	78,65	228,58	187,72	67,83	91,07	119,77

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

O segundo indicador que será analisado será a ocupação da área da frente. Conforme Tabela 34 a seguir, é possível identificar altos níveis de ocupação. Para 20 e 25 produtos a ocupação média se aproxima de 92%, é possível observar que a taxa de ocupação cai bastante quando se trabalha com apenas 10 produtos. Esta ocupação baixa tem uma explicação: está relacionada com a quantidade de produtos a serem alocados. Analisando os indicadores de ocupação e de atendimento da demanda fica mais claro este comportamento.

Tabela 34 – Resultados aplicação GP, ocupação FA.

Capacidade	10.000			15.000		
Produtos	10	20	25	10	20	25
Ocupação FA (%)	58,83	99,85	99,99	38,0	73,72	95,46

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

No tocante ao atendimento dos clientes, os resultados atingidos pela GP são bastante satisfatórios. Atingindo em média de 98% dos clientes, nos cenários de 10 e 20 produtos. Quando se trata de 25 produtos o índice reduz para 85%, porém ainda pode ser considerado um bom desempenho. Esta *performance* pode ser justificada devido os dois objetivos analisados anteriormente, de demanda e ocupação. Buscando atender a demanda e preencher a ocupação da área da frente, buscando otimizar essas metas, consequentemente bons resultados foram obtidos neste indicador, conforme Tabela 35.

Tabela 35 – Resultados aplicação GP, clientes.

Capacidade	10.000			15.000		
Produtos	10	20	25	10	20	25
Cientes (%)	100,0	94,2	72,7	100,0	100,0	100,0

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

Para concluir esta fase de análises, o último indicador a ser analisado será com relação ao atendimento da demanda. É possível observar que quando se trabalha com somente 10 produtos, a demanda é atendida, isto se dá pelo motivo de a quantidade de produtos serem disponibilizados todos na área da frente, desta forma a variedade e quantidade de produtos disponíveis da área da frente é o suficiente para atender a demanda durante o período de *picking*.

Em contrapartida, neste cenário (10 produtos de variedade) o indicador de ocupação é inferior quando comparado com os demais cenários, porém este indicador não deve ser analisado de maneira isolada, por isso a importância em se confrontar os indicadores para então fazer as conclusões.

Conforme a Tabela 36, a demanda é totalmente atendida em 43 dos 6 cenários analisados. Considerando as duas capacidades de área da frente para 10 produtos, e quando se tem uma área da frente de capacidade 15.000 e com 20 e 25 produtos de variedade.

Quando analisamos os outros dois cenários, podemos concluir que toda a área da frente foi ocupada, porém mesmo assim não foi suficiente para atender toda a demanda, desta forma, o atendimento da demanda ficou em média de 62%. É possível concluir que o atendimento da demanda foi prejudicado devido à indisponibilidade de espaço para alocação na área da

frente, e os produtos foram então destinados à área reserva.

*Tabela 36 – Resultados aplicação GP, demanda.*

Capacidade	10.000			15.000		
Produtos	10	20	25	10	20	25
Atendimento da demanda (%)	100,0	73,4	51,6	100,0	100,0	100,0

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

O resumo das análises feitas através da aplicação do GP segue conforme Tabela 37. Os resultados apresentados pela aplicação da GP são razoáveis. Os índices apresentam médias de atingimento de metas altos, para ocupação aproximadamente 80%, para demanda 87%, para atendimento de clientes aproximadamente 95%. Estes resultados demonstram que a aplicação da GP para a resolução do FRP atinge resultados convincentes.

*Tabela 37 – Resultados aplicação GP*

Cenários	Demanda		Clientes		Tempo Gasto(h)		Ocupação FA	
	10.000	15.000	10.000	15.000	10.000	15.000	10.000	15.000
10	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	78,65	67,83	58,83%	38,00%
20	73,4%	100,0%	94,2%	100,0%	228,58	91,07	99,85%	73,72%
25	51,6%	100,0%	72,7%	100,0%	187,72	119,77	99,99%	95,46%

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

#### 5.4.3 Cenário 3 – Classificação

Para concluir as análises dos indicadores, neste momento serão apresentados os dados referentes à aplicação da abordagem de classificação através do PROMSORT. O tempo gasto para alocação dos produtos é próximo quando se trabalha com 10 produtos, porém quando o mix aumenta para 20 e 25 produtos, o tempo gasto é maior no cenário de 10.000 de capacidade de FA. Este fator ocorre devido a limitação de espaço na FA, o que indica que mais produtos devem ser alocados na RA, o que demanda mais tempo, desta forma deixando este indicador mais alto quando se trata do cenário de 10.000 unidades de carga de disponibilidade na FA. A Tabela 38 apresenta os dados de forma detalhada.

*Tabela 38 – Resultados aplicação classificação, tempo gasto.*

Capacidade	10.000			15.000		
Produtos	10	20	25	10	20	25
Tempo Gasto	51,07	128,28	188,28	49,15	111,77	119,77

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

O segundo indicador que será analisado será a ocupação da área da frente. Conforme o *mix* de produtos vai aumentando a ocupação da FA também vai aumentando, como pode ser visto na Tabela 39. Um ponto importante a ser frisado é a ocupação próxima de 100% quando se trabalha com 25 produtos, isto ocorre devido ao maior *mix* de produtos a serem alocados, e neste momento é necessário utilizar a RA principalmente por questões de limitação de espaço.

*Tabela 39 – Resultados aplicação classificação, ocupação FA.*

Capacidade	10.000			15.000		
Produtos	10	20	25	10	20	25
Ocupação FA (%)	57,90	99,56	99,65	38,00	73,73	95,46

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

Na Tabela 40 os resultados com relação ao atendimento aos clientes são apresentados. Os resultados de maneira geral são satisfatórios para a configuração de 15.000 unidades de carga. Representando aproximadamente 67% para a configuração de 10.000 de capacidade e 95% para a configuração de 15.000.

*Tabela 40 – Resultados aplicação classificação, clientes.*

Capacidade	10.000			15.000		
Produtos	10	20	25	10	20	25
Clientes	96,9	61,6	44,3	86,8	100,0	100,0

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

Para finalizar esta fase de análises o último indicador a ser analisado será com relação a demanda, o comportamento é satisfatório e pode se identificar um alto desempenho. Os resultados inferiores são encontrados quando se trabalha com 25 produtos e capacidade da FA de 10.000 unidades de carga, devido à restrição da FA. A Tabela 41 apresenta os resultados.

*Tabela 41 – Resultados aplicação classificação, demanda.*

Capacidade	10.000			15.000		
Produtos	10	20	25	10	20	25
Atendimento da demanda (%)	86,2	72,9	51,1	100,0	100,0	100,0

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

A Tabela 42 apresenta de forma condensada todos os indicadores que foram comentados anteriormente.

Tabela 42 – Resultados aplicação classificação

Cenários	Demanda		Clientes		Tempo Gasto (h)		Ocupação FA	
	10.000	15.000	10.000	15.000	10.000	15.000	10.000	15.000
10	86,2%	100,0%	96,9%	86,8%	51,07	49,15	57,90%	38,00%
20	72,9%	100,0%	61,6%	100,0%	128,28	111,77	99,56%	73,72%
25	51,1%	100,0%	44,3%	100,0%	188,28	119,77	99,65%	95,46%

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

#### 5.4.4 Análise dos resultados

Este primeiro gráfico será analisado considerando o desempenho das abordagens alternativas e também sob a perspectiva da abordagem clássica do FRP.

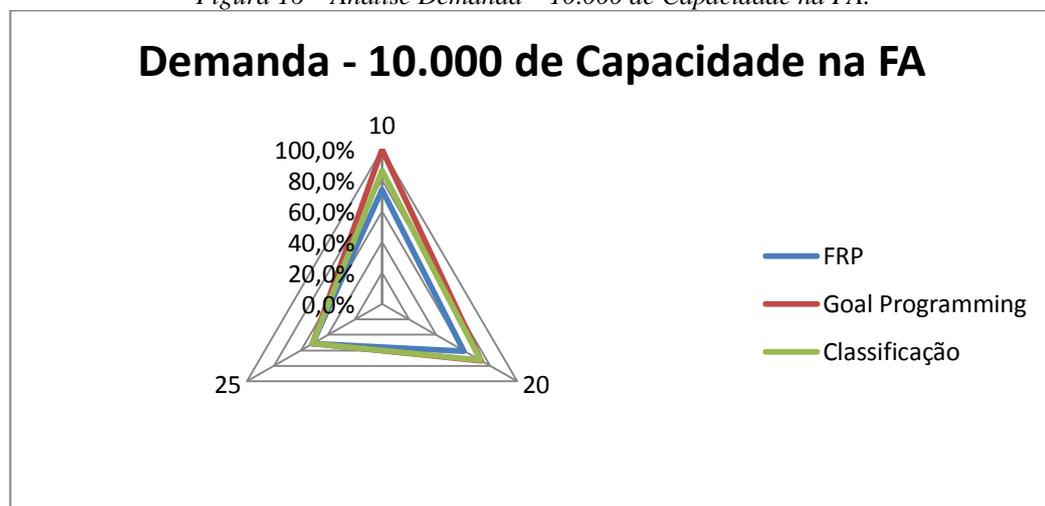
As análises serão divididas em indicadores: demanda, tempo, clientes atendidos e ocupação da FA, considerando os cenários de 10.000 unidades de carga de capacidade e 15.000 unidades de carga de capacidade, e todos os gráficos apresentam o mix disponível de: 10, 20 ou 25 produtos.

O primeiro indicador a ser analisado é a demanda. As Figuras 16 e 17 ilustram os resultados.

Explorando melhor o armazém com 10.000 unidades de carga disponível é possível identificar uma semelhança nos desempenhos das abordagens para os cenários de 20 e 25 produtos. Porém, por outro lado, quando é analisado o mix de 10 produtos, fica claro o destaque para as abordagens alternativas.

Esta diferença acontece devido à alocação de produtos na RA para a abordagem clássica.

Figura 16 – Análise Demanda – 10.000 de Capacidade na FA.

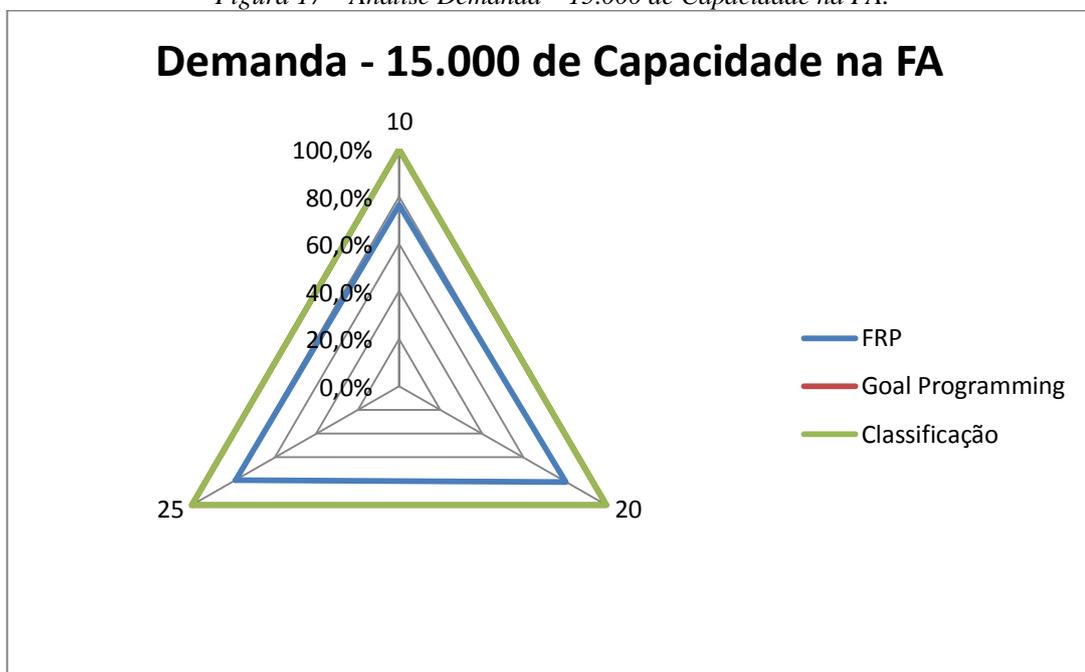


Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Considerando agora o armazém com 15.000 unidade de carga disponível identifica-se uma proximidade entre as abordagens GP e classificação, e uma diferença com relação a abordagem FRP em aproximadamente 20% em todos os cenários relacionados ao mix de produtos, seja 10, 20 ou 25 produtos a diferença é próxima. Sempre com desempenho superior para GP e classificação.

Como o foco das abordagens GP e Classificação não são nos tempos, a destinação de produtos para a FA é evidenciada, o que impacta diretamente em indicadores mais satisfatórios, já que na abordagem clássica em que muitos produtos são enviados para a RA.

Figura 17 – Análise Demanda – 15.000 de Capacidade na FA.

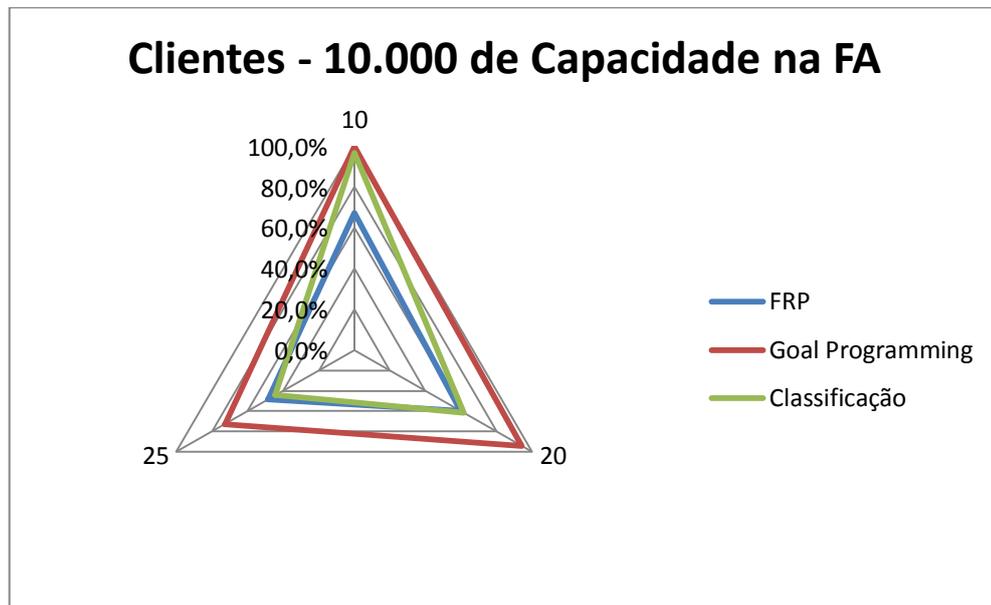


Fonte: Esta Pesquisa (2018).

O segundo indicador a ser analisado é referente ao atendimento aos clientes por produtos alocados na FA. As Figuras 18 e 19, ilustram os resultados.

Considerando o armazém com 10.000 unidades de carga de capacidade a abordagem GP é superior em todos os mix de produtos (10, 20, 25).

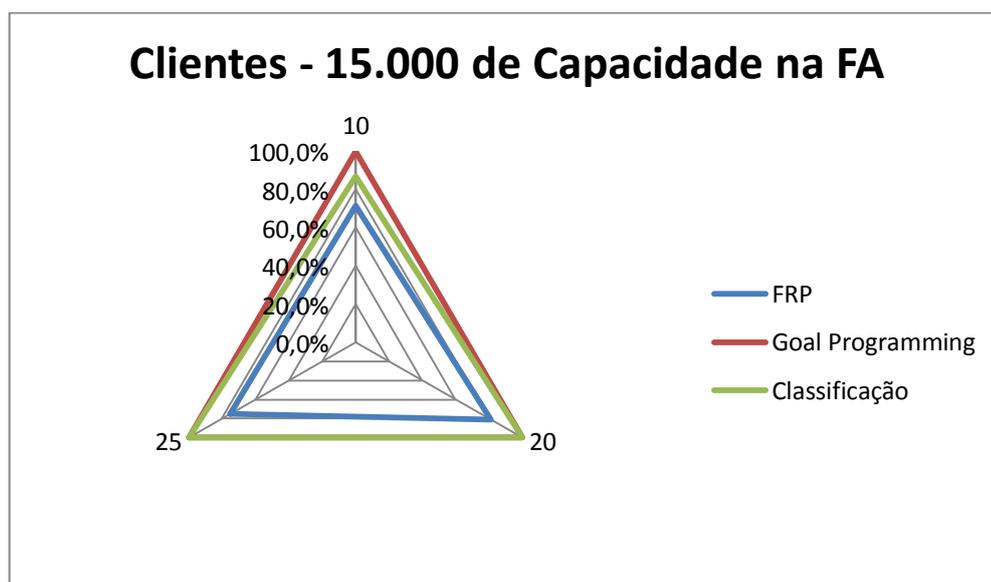
Figura 18 – Análise Clientes– 10.000 de Capacidade na FA.



Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Para o armazém com 15.000 de capacidade na FA, o comportamento da GP também é superior perante as demais abordagens. A diferença neste cenário é que a classificação aparece com melhores resultados quando comparada com a FRP. Ou seja, a abordagem clássica apresenta os resultados menos satisfatórios para o indicador de clientes, como pode ser visto nos resultados apresentados na Figura 19.

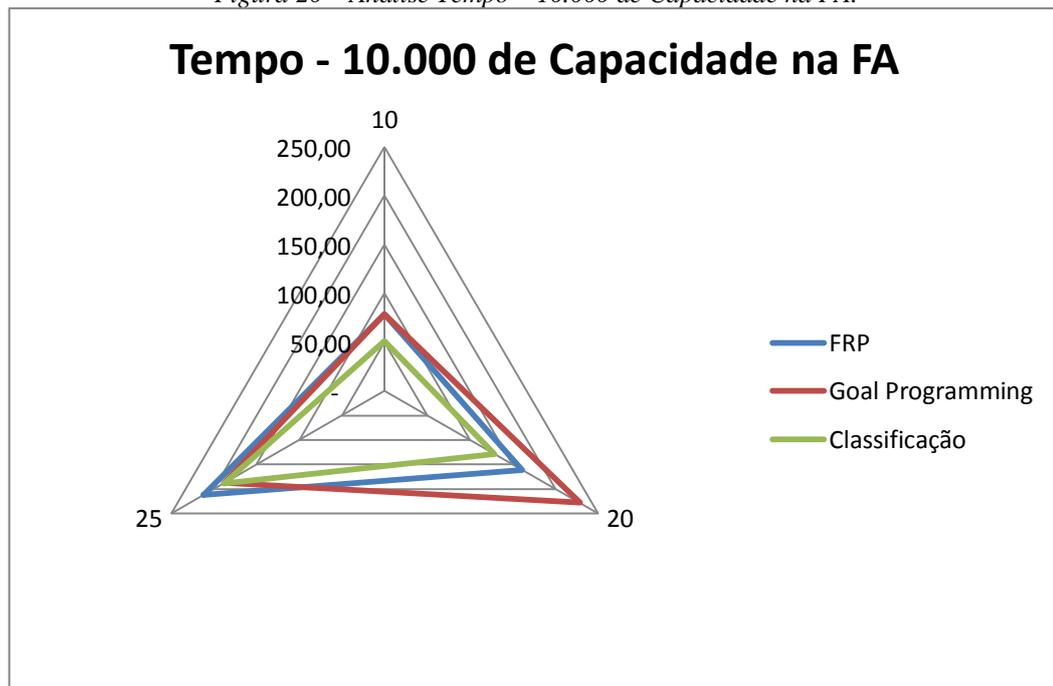
Figura 19 – Análise Clientes– 15.000 de Capacidade na FA.



Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Examinando agora os resultados relacionados ao tempo de alocação dos produtos. Vale ressaltar que para este indicador, quanto menor o tempo, melhor o resultado da abordagem. Os tempos da FRP e GP são superiores na maioria dos casos, conforme Figura 20. Os melhores resultados são apresentados pela abordagem de classificação. A diferença entre os desempenhos é grande no cenário de 20 produtos e muito pequena quando são trabalhados 25 produtos no armazém, para as abordagens alternativas (GP e Classificação).

Figura 20 – Análise Tempo – 10.000 de Capacidade na FA.



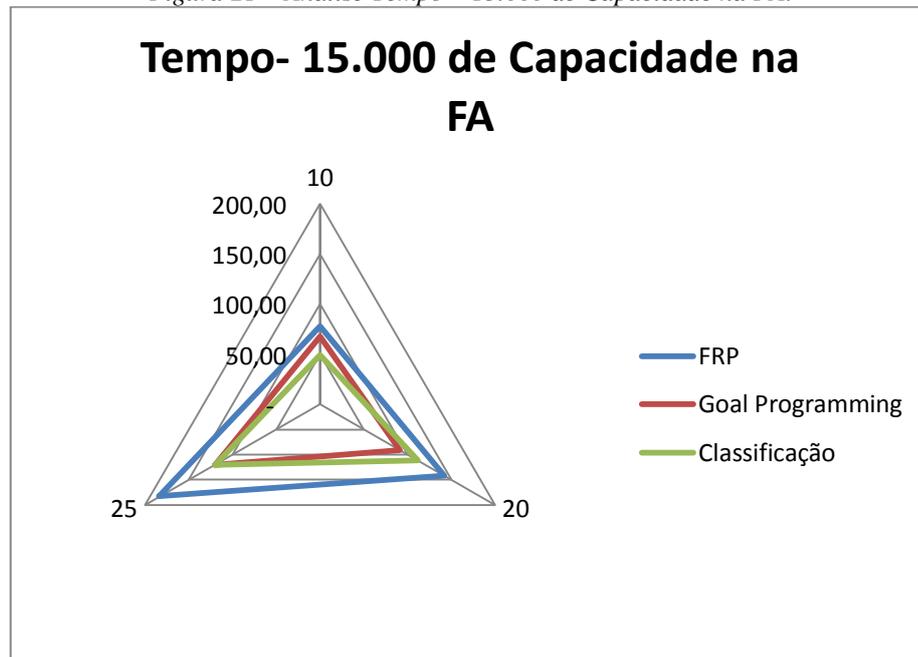
Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Para o armazém com 15.000 de capacidade na FA, o desempenho das três abordagens é próximo quando o mix de produtos se limita a 10, conforme Figura 21.

A abordagem GP e de classificação ainda apresentam um desempenho superior. Para 20 e 25 produtos os resultados variam muito pouco. Porém a diferença entre FRP e demais abordagens alternativas é bem elástico quando são trabalhados 20 e 25 produtos.

Essa diferença acontece devido a abordagem FRP trabalhar com as reposições dos produtos destinados a FA, onde o tempo para essa reposição é significativo no cálculo do tempo total, o que ocasiona um maior tempo na destinação de produtos para a FA.

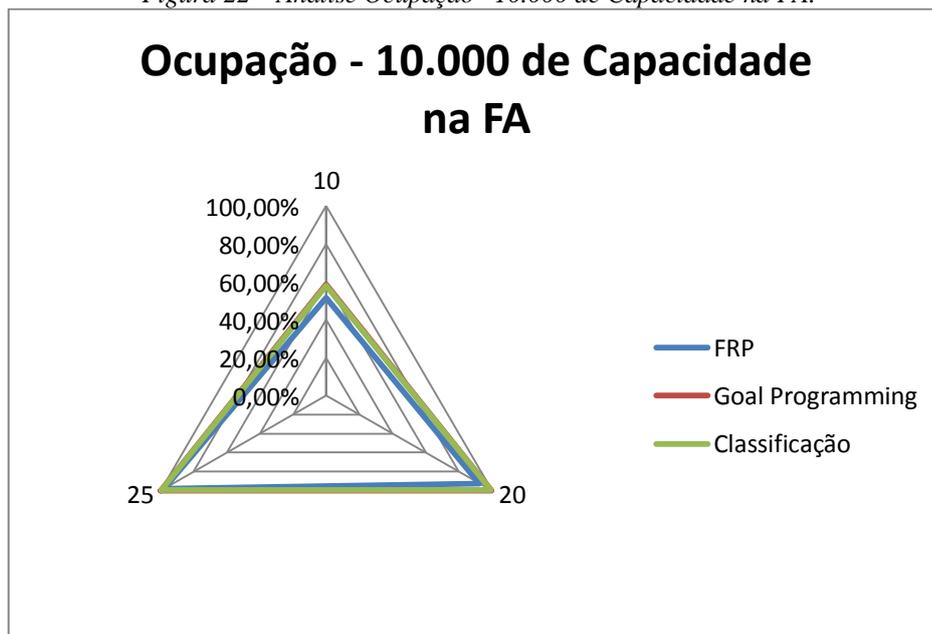
Figura 21 – Análise Tempo – 15.000 de Capacidade na FA.



Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Para finalizar a análise dos gráficos, o indicador de ocupação da FA será analisado. Considerando o armazém de 10.000 unidades de carga, a ocupação apresenta resultados próximos, com relação às diferentes abordagens. Conforme Figura 22, os desempenhos são semelhantes, principalmente quando focamos nas abordagens GP e Classificação, com a FRP apresentando resultados ligeiramente inferiores.

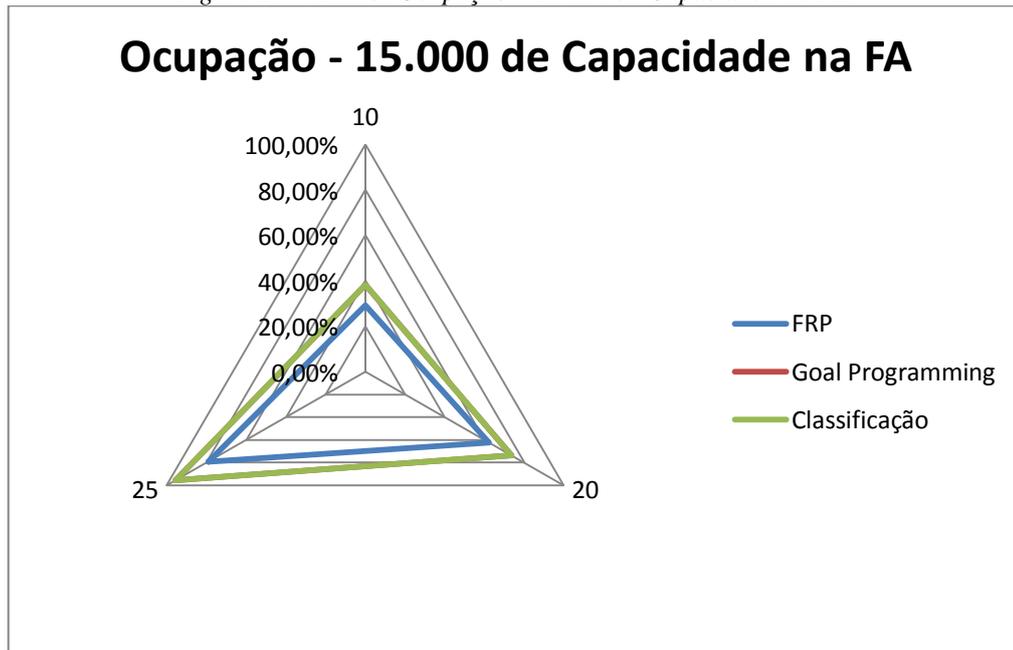
Figura 22 – Análise Ocupação– 10.000 de Capacidade na FA.



Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Concluindo, a Figura 23 apresenta os resultados de ocupação da FA para armazéns com capacidade de 15.000 unidades de carga. A ocupação apresenta resultados melhores com a abordagem de classificação e GP, o comportamento é semelhante ao comportamento apresentado na Figura 22. Porém, neste cenário, a diferença entre as abordagens GP e classificação, perante a abordagem FRP cresce em média para 12 pontos percentuais.

Figura 23 – Análise Ocupação – 15.000 de Capacidade na FA.



Fonte: Esta Pesquisa (2018).

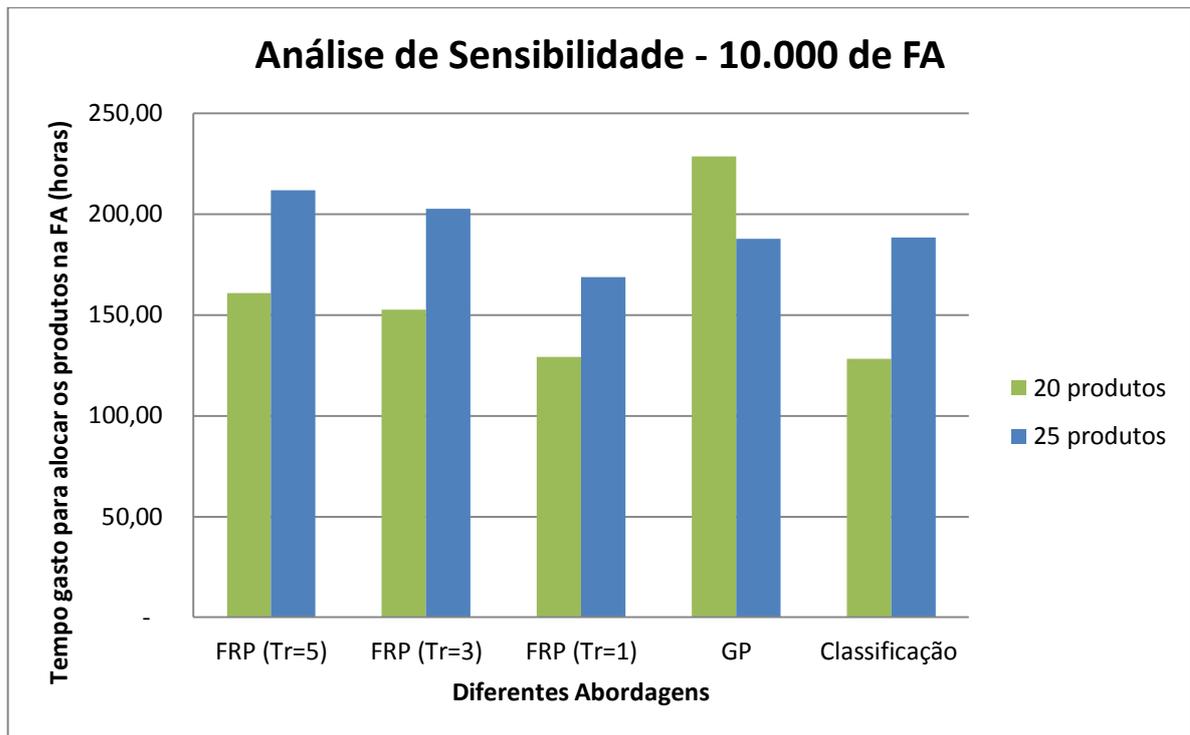
Na etapa seguinte será apresentada uma análise de sensibilidade para a abordagem FRP.

#### 5.4.5 Análise de sensibilidade

Considerando os resultados obtidos pela aplicação da abordagem clássica, os indicadores de desempenho não favoreceram esta abordagem, visto que a questão da reposição dos produtos que são destinados a FA, e o tempo que é demandado por esta atividade, terminam ocasionando maiores tempos para atividade.

De forma a analisar a relação deste tempo de reposição com relação a sua contribuição para o resultado da análise, foi feita a análise de sensibilidade reduzindo o tempo de reposição determinado em 5 minutos para 3 minutos e posteriormente para 1 minuto, com o objetivo de analisar o impacto dessa mudança no resultado da aplicação. A Figura 24 apresenta os resultados encontrados.

Figura 24 – Análise de Sensibilidade - 10.000 de FA.



Fonte: Esta Pesquisa (2018).

A Figura 24 apresenta os resultados do tempo gasto para alocação dos produtos considerando diferentes tempos de reposição. É possível observar que quando este valor é modificado, ocorre redução significativa nos resultados da abordagem FRP. Quando o tempo de reposição é reduzido a 1 minuto, o desempenho da abordagem FRP é superior à abordagem GP e também superior à abordagem de classificação, quando são trabalhados 25 produtos no armazém. Este resultado evidencia a dependência da abordagem FRP com relação ao tempo de reposição, caso os valores sejam variáveis, conforme o produto, ou nos casos onde não há uma certeza acerca deste parâmetro, esta abordagem fica vulnerável a variações e seus resultados podem ser pouco confiáveis.

O comportamento pouco confiável da abordagem FRP, quando submetida à análise de sensibilidade, destaca a importância de abordagens alternativas que apresentam resultados satisfatórios e que, além disso, consideram critérios que não foram explorados na perspectiva clássica.

## 5.5 Síntese Conclusiva

É importante ressaltar ao final do capítulo que as considerações que foram feitas são para situações divergentes. Os resultados não devem ser comparados de forma direta, devido a estarem tratando de momentos diferentes, conforme tabela 43.

*Tabela 43 – Presença do decisor x abordagem utilizada.*

<b>Abordagens</b>	<b>Decisor</b>
B-FRP	Ausente
<i>Goal programming</i>	Presente com menor intensidade
Classificação	Presente

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

No capítulo seis serão tratadas as considerações finais, restrições desta pesquisa e também as recomendações para trabalhos futuros.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1 Conclusões

A presente pesquisa teve como objetivo resolver o *forward reserve problem* (FRP) através da abordagem *goal programming* e da problemática de classificação, com a finalidade de disponibilizar novas alternativas para a alocação de produtos, considerando a importância dos clientes na avaliação das alternativas.

A diferença fundamental entre essas três abordagens para a solução do problema FRP está relacionada com a participação e envolvimento do decisor durante o processo decisório. A Tabela 6.1 apresenta as abordagens e a relação de envolvimento do decisor durante o processo. A primeira abordagem B-FRP, a forma clássica de resolver o problema, não considera em momento algum a participação do decisor. Para a resolução do problema através da *goal programming* é necessária a presença do decisor no tocante a definição dos objetivos e aspectos relacionados ao problema. Já para a abordagem de classificação a presença do decisor é fundamental para resolução do problema, visto que durante o processo a estrutura de preferência do decisor é modelada e levada em consideração para a obtenção dos resultados do processo decisório.

A metodologia utilizada fez uso de um modelo matemático e optou-se pela simulação, por esta permitir estudar processos em diferentes cenários. Seis cenários foram descritos, variando as quantidades demandadas, o número de clientes, quantidade de produtos trabalhados, capacidade de unidades de carga disponível no armazém. Dentro de cada cenário foram simuladas as alterações do número de unidades de carga disponíveis na área da frente do armazém (10.000 e 15.000), três níveis de variedade de produtos distintos a serem estocados (10, 20 e 25).

Considerando o desenvolvimento da pesquisa é possível concluir que o objetivo geral foi atingido visto que a resolução do *forward reserve problem* (FRP) foi integralizada. Vale a pena ressaltar que as abordagens aqui utilizadas não devem ser comparadas, com relação do seu desempenho, visto que são utilizadas em diferentes ocasiões. Por exemplo, a abordagem de classificação não pode ser utilizada para situações em que o decisor não tem tempo e/ou não está disposto a participar do processo. Nesses casos a abordagem clássica será a melhor alternativa.

Com relação aos objetivos específicos estes também foram cumpridos, visto que foi selecionar as abordagens para alocação de produtos em armazéns a fim de identificar lacunas

vulneráveis a adaptações; sendo assim à abordagem FRP foi utilizada na análise.

A importância dos clientes na problemática do FRP foi incorporado nas abordagens *goal programming* e classificação.

O problema FRP foi transformado em um problema de *goal programming*, considerando aspectos relacionados ao atendimento ao cliente, entre outras restrições.

O problema foi tratado através de uma problemática de classificação, e integrado a outros critérios para análise da situação.

Também foram considerados no problema diferentes aspectos concernentes à participação do decisor, como uma participação menos intensa, com a *goal programming*, e com uma presença mais efetiva no decisor na problemática de classificação.

Com os resultados apresentados foi possível identificar as discrepâncias entre os indicadores, inclusive no tocante aos diferentes cenários, e como questões como a capacidade da FA interfere de maneira considerável a alocação dos produtos.

A seguir serão apresentadas algumas limitações existentes no presente estudo, e também propostas para trabalhos futuros.

## **6.2 Limitações e trabalhos futuros**

O presente estudo limitou-se a trabalhar com aspectos relacionados a três diferentes quantidades de produtos disponíveis em um armazém hipotético, as quantidades de 10, 20 e 25 produtos, com armazéns de 10.000 e 15.000 unidades de carga disponível como capacidade para a FA. Todas as análises feitas foram considerando alguns desses cenários.

Como recomendações para trabalhos futuros é possível desenvolver novas análises considerando cenários diversos, a ideal seria aumentar a quantidade de produtos para verificar qual o impacto nos indicadores, considerando que em situações reais, o mix de produtos utilizados nos armazéns é superior ao número 25.

Um estudo de caso poderia ser desenvolvido em um armazém real para se analisar o desenvolvimento desta pesquisa em organizações que estão inseridas no mercado, e também analisar como ocorre o processo decisório na “vida real” considerando também a modelagem de estrutura de preferência do decisor. Esta aplicação complementar de maneira substancial este estudo.

Outra recomendação para estudos futuros seria considerar aspectos como dimensão dos produtos, utilizar diferentes características do armazém para coletar uma gama maior de resultados e inferir novas considerações sobre a problemática.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. T. D. ET. AL. International Series in Operations Research & Management Science Series Editor : **International Series in Operations Research & Management Science**, v. 157, 2016.
- ALMEIDA, A.T. de. **Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério**, 1a Edição. Editora Atlas, São Paulo, 2013.
- ARAZ, C.; OZKARAHAN, I. Supplier evaluation and management system for strategic sourcing based on a new multicriteria sorting procedure. **International Journal of Production Economics**, 106: 585-606. 2007.
- ARENAS PARRA, M.; BILBAO TEROL, A.; RODRÍGUEZ URÍA, M. V. A fuzzy *goal programming* approach to portfolio selection. **European Journal of Operational Research**, v. 133, n. 2, p. 287–297, 2001.
- BADRI, M. A. Combining the analytic hierarchy process and *goal programming* for global facility location-allocation problem. **International Journal of Production Economics**, v. 62, n. 3, p. 237–248, 1999.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial** – 4. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BARTHOLDI, J. J.; HACKMAN, S. T. Allocating space in a forward pick area of a distribution center for small parts. **IIE Transactions**, v. 40, n. 11, p. 1046–1053, 2008.
- BEHZADIAN, M.; KAZEMZADEH, R. B.; ALBADVI, A.; AGHDASI, M. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. **European Journal of Operations Research**, 200: 198-215, 2009.
- BELTON, V.; STEWART T.J. **Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer, 2002.
- BERG V.D, J. P. A literature survey on planning and control of warehousing systems. **IIE Transactions**, v. 31, n. 8, p. 751–762, 1999.
- BERG V.D, J. P.; SHARP, G. P.; GADEMANN, A. J. R. M. (NOUD.; POCHET, Y. Forward-reserve allocation in a warehouse with unit-load replenishments. **European Journal of Operational Research**, v. 111, n. 1, p. 98–113, 1999.
- BERG, J. P. V. D. & ZIJM, W. H. M. Models for warehouse management: Classification and examples. **International Journal of Production Economics**, v. 59, n. 1, p. 519–528, 1999.
- BERTAGLIA, P. R. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. São Paulo: Saraiva, 2009.
- BISH, E. K. A multiple-crane-constrained scheduling problem in a container terminal. **European Journal of Operational Research**, v. 144, n. 1, p. 83–107, 2003.
- BOGUE, R. Growth in e-commerce boosts innovation in the warehouse robot market. **Industrial Robot-An International**, v. 43, n. 6, p. 583–587, 2016.

BOWERSOX, D.J.;CLOSS, D.J. **Logística Empresarial: O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento**. São Paulo. Atlas, 2001.

BRANS, J. P., MARESCHAL, B. PROMETHEE Methods In: Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. (Eds.), **MultipleCriteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. Springer Science: 163-196, 2005.

BRUNI, ADRIANO LEAL; FAMÁ, RUBENS. **Gestão de custos e formação de preços**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

CARON, F.; MARCHET, G.; PEREGO, A. Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems. **International Journal of Production Research**, v. 36, n. 3, p. 713–732, 1998.

CAXITO, F. **Logística – um enfoque prático**. São Paulo: Saraiva, 2011.

CHANG, C. TER. Binary fuzzy *goal programming*. **European Journal of Operational Research**, v. 180, n. 1, p. 29–37, 2007.

CHARNES, A.; COOPER, W. W. **Management models and industrial applications of linear programming**. New York. John Wiley, 1961.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 4 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

CORMIER, G.; GUNN, E. A. A review of warehouse models. **European Journal of Operational Research**, v. 58, n. 1, p. 3–13, 1992.

COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS. Disponível em: <https://cscmp.org/supply-chain-management-definition>. Acesso em: 18 de Abril de 2016.

DASGUPTA, D.. Retailing in India and the Role of the Marketing Mix', **European Retail Digest**, 53:1, 17-20, 2007.

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

DE OLIVEIRA, F.; VOLPI, N. M. P.; SANQUETTA, C. R. *Goal programming* in a planning problem. **Applied Mathematics and Computation**, v. 140, p. 165–178, 2003.

DIAS, MARCO AURÉLIO P. **Administração de materiais: uma abordagem logística**. São Paulo: Atlas, 1986

ERENGUÇ, S. S.; SIMPSON, N. C.; VAKHARIA, A. J. Integrated production / distribution planning in supply chains : An invited review. **European Journal of Operational Research**, v. 115, p. 219–236, 1999.

FOX, M. S.; BARBUCEANU, M.; TEIGEN, R. Agent-oriented supply-chain management. **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v. 12, n. 2, p. 165–188, 2000. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0034171704&partnerID=40&md5=f8843fedf34ca651bf517769b650beff>>. .

FRAZELLE, ET AL. **The Forward-reserve Problem**. 1994.

FRAZELLE, E. **World-class warehousing and material handling**. New York: McGraw-Hili, 2001.

GADEMANN, A. J. R. M.; VAN DEN BERG, J. P.; VAN DER HOFF, H. H. An order batching algorithm for wave *picking* in a parallel-aisle warehouse. **IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)**, v. 33, n. 5, p. 385–398, 2001.

GIANESI, I. G. N., & BIAZZI, J. L. Gestão estratégica dos estoques. **Revista de Administração**, 46(3), 290-304, 2011.

GÖKÇEN, H.; EREL, E. A *goal programming* approach to mixed-model assembly line balancing problem. **International Journal of Production Economics**, v. 48, p. 177–185, 1997.

GU, J. The forward reserve warehouse sizing and dimensioning problem. , , n. December, p. 168, 2005. Disponível em:  
<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.130.1042&rep=rep1&type=pdf>>.

GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F. Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. **European Journal of Operational Research**, v. 203, n. 3, p. 539–549, 2010. Elsevier B.V. Disponível em:  
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.07.031>>.

GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F. Research on warehouse operation: A comprehensive review. **European Journal of Operational Research**, v. 177, n. 1, p. 1–21, 2007.

GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F. Solving the forward-reserve allocation problem in warehouse order picking systems. **The Journal of the Operational Research Society**, v. 61, n. 6, p. 1013–1021, 2010.

HACKMAN, S., ROSENBLATT, M., & OLIN, J. M. Allocating items to an automated storage and retrieval system. **IIE Transactions**, 22, 7–14, 1990.

HERAGU , S. S.; DU, L.; MANTEL, R. J.; SCHUUR, P. C. Mathematical model for warehouse design and product allocation. **International Journal of Production Research**, v. 43, n. 2, p. 327–338, 2005. Disponível em:  
<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540412331285841>>.

HSU, C. M.; CHEN, K. Y.; CHEN, M. C. Batching orders in warehouses by minimizing travel distance with genetic algorithms. **Computers in Industry**, v. 56, n. 2, p. 169–178, 2005.

IGNIZIO J.P., **Introduction to Linear goal programming**, Sage, Beverly, Hills, CA, 1985.

JANE, C. C.; LAIH, Y. W. A clustering algorithm for item assignment in a synchronized zone *order picking* system. **European Journal of Operational Research**, v. 166, n. 2, p. 489–496, 2005.

JONES, D.; FLORENTINO, H.; CANTANE, D.; OLIVEIRA, R. An extended *goal*

*programming* methodology for analysis of a network encompassing multiple objectives and stakeholders. **European Journal of Operational Research**, v. 255, n. 3, p. 845–855, 2016. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2016.05.032>>. .

JONES, D.; TAMIZ, M.; RIES, J.; BROCKHOFF, D.; ZITZLER, E. New Developments in Multiple Objective and *Goal programming*. , v. 638, p. 81-102–102, 2010.

KESAVAN S, KUSHWAHA T, GAUR V. **Do high- and low-inventory turnover retailers respond differently to demand shocks?** Working paper, University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, 2014.

KORNBLUTH, J. **A Survey of goal programming**, *Omega*, 1, 193-205 , 1973.

LEE, J. W.; KIM, S. H. Using analytic network process and *goal programming* for interdependent information system project selection. **Computers & Operations Research**, v. 27, n. 4, p. 367–382, 2000.

MALMBORG, C.J., An integrated storage system evaluation model. **Applied Mathematical Modelling** 20 (5), 359–370, 1996.

MELO, T.; NICKEL, S.; GAMA, F. S. DA. Facility Location and Supply Chain Management – A comprehensive review. **Berichte des Fraunhofer ITWM**, v. 130, n. 130, p. 1–63, 2007.

MOGHADDAM, K. S. Supplier selection and order allocation in closed-loop supply chain systems using hybrid Monte Carlo simulation and *goal programming*. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 20, p. 6320–6338, 2015. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2015.1054452>>. .

MONROE, K. B. **Pricing making profitable decisions**. 3rd edition. New York: McGrawHill/Irwin, 2003

NOGUEIRA, A. de S. **Logística Empresarial – Uma visão local com pensamento global**. São Paulo: Atlas, 2012.

OPRICOVIC, S; GWO-HSHIUNG TZENG. Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods, **European Journal of Operational Research**, Vol. 178, No 2, pp. 514–529, 2007.

SHIM, J. P., WARKENTIN, M., COURTNEY, J. F., POWER, D. J., SHARDA, R., & CARLSSON, C. (2002). **Past, present, and future of decision support technology**. **Decision Support Systems**, 33(2), 111-126. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-9236\(01\)00139-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-9236(01)00139-7)

PATI, R. K.; VRAT, P.; KUMAR, P. A *goal programming* model for paper recycling system. **Omega**, v. 36, n. 3, p. 405–417, 2008.

PETERSEN, C. G.; AASE, G. A comparison of *picking*, storage, and routing policies in manual *order picking*. **International Journal of Production Economics**, v. 92, n. 1, p. 11–19, 2004.

QUADER, S; CASTILLO-VILLAR, KK. Design of an enhanced multi-aisle order-picking system considering storage assignments and routing heuristics. **Robotics and computer-**

**integrated manufacturing**, v. 50, p. 13–29, 2018.

RANSIKARBUM, K.; MASON, S. J. *Goal programming*-based post-disaster decision making for integrated relief distribution and early-stage network restoration. **International Journal of Production Economics**, v. 182, p. 324–341, 2016. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.030>>. .

ROMERO, C. A general structure of achievement function for a *goal programming* model. **European Journal of Operational Research**, v. 153, n. 3 SPEC. ISS., p. 675–686, 2003.

ROODBERGEN, K. J. A survey of literature on automated storage and retrieval systems. **European Journal of Operational Research**, v. 194, n. 2, p. 343–362, 2009. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.489.1577&rep=rep1&type=pdf>>.

ROUWENHORST, B. Warehouse design and control : Framework and literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 122, p. 515–533, 2000.

ROY, B. **Methodologie Multicritere d’Aide a la Decision**. Economica, Paris, 1985.

SADJADY, H.; DAVOUDPOUR, H. Two-echelon, multi-commodity supply chain network design with mode selection, lead-times and inventory costs. **Computers and Operations Research**, v. 39, n. 7, p. 1345–1354, 2012. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2011.08.003>>. .

SANTIN, C. R.; ACKER, F. D. C. C.; FELIPE, J. L.; SILVA, J. da. Estoques: como obter vantagem competitiva? **Congresso Internacional de Administração-ADM: 2004**.

SARMIENTO, A. M.; NAGI, R. A review of integrated analysis of production-distribution systems. **IIE Transactions**, v. 31, n. 11, p. 1061–1074, 1999.

SCHOLL, P.; DEUSE, J. Approach to reduce costs in a warehouse with simultaneous increase of the system’s flexibility. **Proceedings of 2010 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, SOLI 2010**, p. 183–188, 2010.

SILVA, A. F. DA S.; MARINS, F. A. S. Revisão da literatura sobre modelos de Programação por Metas determinística e sob incerteza. **Production**, v. 25, n. 1, p. 92–112, 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65132015000100092&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132015000100092&lng=pt&tlng=pt)>. .

TAMIZ, M.; JONES, D.; ROMERO, C. *Goal programming* for decision making: An overview of the current state-of-the-art. **European Journal of Operational Research**, v. 111, n. 3, p. 569–581, 1998.

TEIXEIRA, N. M. D.; AMARO, A. G. C. Avaliação do Desempenho Financeiro e da Criação de Valor – Um Estudo de Caso. **Revista Universo Contábil**, v. 9, n. 4, p. 157–178, 30 dez. 2013. <http://dx.doi.org/10.4270/ruc.2013436>

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. New York: John Wiley, 1992.

WALTER, R.; BOYSEN, N.; SCHOLL, A. The discrete forward-reserve problem - Allocating space, selecting products, and area sizing in forward *order picking*. **European Journal of Operational Research**, v. 229, n. 3, p. 585–594, 2013. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2013.02.047>>.

WERNKE, RODNEY; LEMBECK, MARLUCE. Análise de rentabilidade dos segmentos de mercado de empresa distribuidora de mercadorias. **Rev. contab. finanç.**, São Paulo , v. 15, n. 35, p. 68-83, Aug. 2004 . Available from

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-70772004000200006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-70772004000200006&lng=en&nrm=iso)>. access on 04 Feb. 2018.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1519-70772004000200006>.

WINSTON, W. L. **Operations Research: Applications and Algorithms**. 4a ed. Duxbury Press, 2004.

YU, H.; SOLVANG, W. D.; SOLVANG, B. A *Goal programming* Approach for Green Supply Chain Network Optimization. **Proceedings of the 6th International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation**, v. 24, n. October, p. 92–97, 2016.

APÊNDICE A - TABELAS REFERENTES AOS DADOS UTILIZADOS  
PARA CÁLCULOS DAS ABORDAGENS FRP, GOAL PROGRAMMING E  
PROMSORT.

*Tabela A.1 – Dados configuração FA 10.000 unidades de carga.*

PRODUTOS	Rentabilidade	Giro	Demanda	Clientes Atendidos
P1	Alta	0,146	493	26
P2	Média	0,488	242	42
P3	Alta	0,991	455	20
P4	Alta	0,812	484	2
P5	Média	0,610	328	42
P6	Alta	0,869	452	18
P7	Baixa	3,756	127	47
P8	Baixa	5,455	55	16
P9	Baixa	5,868	38	22
P10	Média	0,960	297	41
P11	Alta	0,224	459	44
P12	Média	1,479	315	9
P13	Média	0,441	354	22
P14	Baixa	2,763	156	40
P15	Média	0,402	209	13
P16	Baixa	1,571	198	30
P17	Média	1,309	327	10
P18	Média	0,104	279	11
P19	Média	0,599	302	8
P20	Alta	0,905	486	6
P21	Alta	0,407	492	26
P22	Média	0,346	231	9
P23	Média	0,222	293	42
P24	Média	0,429	280	39
P25	Média	0,339	236	15

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

Tabela A.2 – Dados configuração FA 15.000 unidades de carga.

PRODUTOS	Rentabilidade	Giro	Demanda	Cientes Atendidos
P1	Média	1,358	330	42
P2	Média	0,665	388	24
P3	Baixa	0,588	199	49
P4	Média	0,850	319	26
P5	Baixa	1,648	71	35
P6	Alta	1,060	403	33
P7	Média	0,669	320	40
P8	Baixa	1,909	198	5
P9	Alta	0,600	423	26
P10	Média	0,896	298	10
P11	Média	0,918	255	39
P12	Baixa	2,503	149	48
P13	Média	0,827	254	26
P14	Média	1,547	214	41
P15	Média	0,862	325	30
P16	Baixa	4,479	73	23
P17	Média	0,708	370	13
P18	Alta	0,863	445	10
P19	Média	1,106	282	4
P20	Baixa	0,878	148	15
P21	Alta	1,065	443	21
P22	Média	1,062	341	11
P23	Alta	0,709	450	44
P24	Baixa	1,075	161	9
P25	Média	0,651	327	43

*Fonte: Esta Pesquisa (2018)*

APÊNDICE B – DADOS REFERENTES À APLICAÇÃO DO PROMSORT  
NO VISUAL PROMETHEE.

Figura B.1 – Aplicação PROMSORT – 10.000/10 Produtos.

10.000		Rentabilidade	Giro	Demanda	Cientes	
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	
<b>Preferences</b>						
Min/Max	max	min	max	max		
Weight	0,37	0,27	0,21	0,15		
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual		
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute		
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a		
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a		
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a		
<b>Statistics</b>						
Minimum	0,0000	0,0200	0,0800	0,0400		
Maximum	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000		
Average	0,5385	0,3300	0,5638	0,5662		
Standard Dev.	0,4142	0,3189	0,3217	0,2874		
<b>Evaluations</b>						
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO 1	■	1,0000	0,0200	1,0000	0,5500
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO 2	■	0,5000	0,0800	0,4900	0,8900
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO 3	■	1,0000	0,1700	0,9200	0,4300
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO 4	■	1,0000	0,1400	0,9800	0,0400
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO 5	■	0,5000	0,1000	0,6700	0,8900
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO 6	■	1,0000	0,1500	0,9200	0,3800
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO 7	■	0,0000	0,6400	0,2600	1,0000
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO 8	■	0,0000	0,9300	0,1100	0,3400
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO 9	■	0,0000	1,0000	0,0800	0,4700
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO 10	■	0,5000	0,1600	0,6000	0,8700
<input checked="" type="checkbox"/>	limite perfil 1	■	1,0000	0,1000	0,7000	0,8000
<input checked="" type="checkbox"/>	limite perfil 2	■	0,5000	0,3000	0,4000	0,5000
<input checked="" type="checkbox"/>	limite perfil 3	■	0,0000	0,5000	0,2000	0,2000

Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Figura B.2 – Aplicação PROMSORT – 10.000/10 Produtos.

Actions	C3	C2	C1
PRODUTO1			X
PRODUTO2			X
PRODUTO3			X
PRODUTO4			X
PRODUTO5			X
PRODUTO6			X
PRODUTO7		X	
PRODUTO8	X		
PRODUTO9	X		
PRODUTO10			X

Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Figura B.3 – Aplicação PROMSORT – 15.000/10 Produtos.

15.000	Rentabilidade	Gro	Demanda	Cientes	
Unit	unit	unit	unit	unit	
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	
<b>Preferences</b>					
Min/Max	max	min	max	max	
Weight	0,62	0,23	0,09	0,07	
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	
<b>Statistics</b>					
Minimum	0,0000	0,1000	0,1700	0,1000	
Maximum	1,0000	0,5000	1,0000	1,0000	
Average	0,4615	0,2454	0,6362	0,5700	
Standard Dev.	0,3649	0,1214	0,2612	0,2665	
<b>Evaluations</b>					
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO1	0,5000	0,3000	0,7800	0,8600
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO2	0,5000	0,1500	0,9200	0,4900
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO3	0,0000	0,1300	0,4700	1,0000
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO4	0,5000	0,1900	0,7500	0,5300
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO5	0,0000	0,3700	0,1700	0,7100
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO6	1,0000	0,2400	0,9500	0,6700
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO7	0,5000	0,1500	0,7600	0,8200
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO8	0,0000	0,4300	0,4700	0,1000
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO9	1,0000	0,1300	1,0000	0,5300
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO10	0,5000	0,2000	0,7000	0,2000
<input checked="" type="checkbox"/>	limite perfil 1	1,0000	0,1000	0,7000	0,8000
<input checked="" type="checkbox"/>	limite perfil 2	0,5000	0,3000	0,4000	0,5000
<input checked="" type="checkbox"/>	limite perfil 3	0,0000	0,5000	0,2000	0,2000

Fonte: Esta Pesquisa (2018).

*Figura B.4 – Aplicação PROMSORT – 15.000/10 Produtos.*

<b>Actions</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>
<b>PRODUTO1</b>			X
<b>PRODUTO2</b>			X
<b>PRODUTO3</b>		X	
<b>PRODUTO4</b>			X
<b>PRODUTO5</b>		X	
<b>PRODUTO6</b>			X
<b>PRODUTO7</b>			X
<b>PRODUTO8</b>		X	
<b>PRODUTO9</b>			X
<b>PRODUTO10</b>			X

*Fonte: Esta Pesquisa (2018).*

Figura B.5 – Aplicação PROMSORT – 10.000/20 Produtos.

10.000	Rentabilidade	Grp	Demanda	Clientes
Unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆
<b>Preferences</b>				
Min/Max	max	min	max	max
Weight	0,37	0,27	0,21	0,15
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Statistics</b>				
Minimum	0,0000	0,0200	0,0800	0,0400
Maximum	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Average	0,5217	0,2591	0,5909	0,4987
Standard Dev.	0,3753	0,2674	0,2792	0,2960
<b>Evaluations</b>				
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO1	1,0000	0,0200	1,0000	0,5500
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO2	0,5000	0,0800	0,4900	0,8900
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO3	1,0000	0,1700	0,9200	0,4300
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO4	1,0000	0,1400	0,9800	0,0400
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO5	0,5000	0,1000	0,6700	0,8900
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO6	1,0000	0,1500	0,9200	0,3800
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO7	0,0000	0,6400	0,2600	1,0000
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO8	0,0000	0,9300	0,1100	0,3400
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO9	0,0000	1,0000	0,0800	0,4700
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO10	0,5000	0,1600	0,6000	0,8700
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO11	1,0000	0,0400	0,9300	0,9400
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO12	0,5000	0,2500	0,6400	0,1900
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO13	0,5000	0,0800	0,7200	0,4700
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO14	0,0000	0,4700	0,3200	0,8500
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO15	0,5000	0,0700	0,4200	0,2800
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO16	0,0000	0,2700	0,4000	0,6400
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO17	0,5000	0,2200	0,6600	0,2100
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO18	0,5000	0,0200	0,5700	0,2300
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO19	0,5000	0,1000	0,6100	0,1700
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO20	1,0000	0,1500	0,9900	0,1300
<input checked="" type="checkbox"/> lista perfil 1	1,0000	0,1000	0,7000	0,8000
<input checked="" type="checkbox"/> lista perfil 2	0,5000	0,3000	0,4000	0,5000
<input checked="" type="checkbox"/> lista perfil 3	0,0000	0,5000	0,2000	0,2000

Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Figura B.6 – Aplicação PROMSORT – 10.000/20 Produtos.

Actions	C3	C2	C1
PRODUTO1			X
PRODUTO2			X
PRODUTO3			X
PRODUTO4			X
PRODUTO5			X
PRODUTO6			X
PRODUTO7		X	
PRODUTO8	X		
PRODUTO9	X		
PRODUTO10			X
PRODUTO11			X
PRODUTO12			X
PRODUTO13			X
PRODUTO14		X	
PRODUTO15			X
PRODUTO16		X	
PRODUTO17			X
PRODUTO18			X
PRODUTO19			X
PRODUTO20			X

Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Figura B.7 – Aplicação PROMSORT – 15.000/20 Produtos.

15.000		Rentabilidade	Grp	Demanda	Clientes
Unit		unit	unit	unit	unit
Cluster/Group		◆	◆	◆	◆
<b>Preferences</b>					
Min/Max		max	min	max	max
Weight		0,67	0,25	0,05	0,04
Preference Pn.		Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds		absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference		n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference		n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian		n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Statistics</b>					
Minimum		0,0000	0,1000	0,1600	0,0800
Maximum		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Average		0,4348	0,2813	0,5848	0,5435
Standard Dev.		0,3396	0,1937	0,2420	0,2757
<b>Evaluations</b>					
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO1	0,5000	0,3000	0,7300	0,8600
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO2	0,5000	0,1500	0,8600	0,4900
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO3	0,0000	0,1300	0,4400	1,0000
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO4	0,5000	0,1900	0,7100	0,5300
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO5	0,0000	0,3700	0,1600	0,7100
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO6	1,0000	0,2400	0,9000	0,6700
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO7	0,5000	0,1500	0,7100	0,8200
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO8	0,0000	0,4300	0,4400	0,1000
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO9	1,0000	0,1300	0,9400	0,5300
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO10	0,5000	0,3000	0,6600	0,2000
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO11	0,5000	0,2000	0,5700	0,8000
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO12	0,0000	0,5600	0,3300	0,9800
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO13	0,5000	0,1800	0,5600	0,5300
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO14	0,5000	0,3500	0,4800	0,9400
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO15	0,5000	0,1900	0,7200	0,6100
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO16	0,0000	1,0000	0,1600	0,4700
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO17	0,3000	0,1600	0,8200	0,2700
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO18	1,0000	0,1900	1,0000	0,2000
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO19	0,5000	0,2500	0,6300	0,0800
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO20	0,0000	0,2000	0,3300	0,3100
<input checked="" type="checkbox"/>	limite perfis 1	1,0000	0,1000	0,7000	0,8000
<input checked="" type="checkbox"/>	limite perfis 2	0,5000	0,3000	0,4000	0,5000
<input checked="" type="checkbox"/>	limite perfis 3	0,0000	0,5000	0,2000	0,2000

Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Figura B.8 – Aplicação PROMSORT – 15.000/20 Produtos.

Actions	C3	C2	C1
PRODUTO1			X
PRODUTO2			X
PRODUTO3		X	
PRODUTO4			X
PRODUTO5		X	
PRODUTO6			X
PRODUTO7			X
PRODUTO8		X	
PRODUTO9			X
PRODUTO10			X
PRODUTO11			X
PRODUTO12	X		
PRODUTO13			X
PRODUTO14		X	
PRODUTO15			X
PRODUTO16	X		
PRODUTO17			X
PRODUTO18			X
PRODUTO19			X
PRODUTO20		X	

Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Figura B.9 – Aplicação PROMSORT – 10.000/25 Produtos.

10.000	Rentabilidade	Gro	Demanda	Clientes
Unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆
<b>Preferences</b>				
Min/Max	max	min	max	max
Weight	0,42	0,31	0,16	0,12
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Statistics</b>				
Minimum	0,0000	0,0200	0,0000	0,0400
Maximum	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Average	0,5357	0,2236	0,5964	0,5089
Standard Dev.	0,3517	0,2541	0,2664	0,2931
<b>Evaluations</b>				
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO1	1,0000	0,0200	1,0000	0,5900
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO2	0,5000	0,0800	0,4900	0,8900
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO3	1,0000	0,1700	0,9200	0,4300
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO4	1,0000	0,1400	0,9800	0,0400
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO5	0,5000	0,1000	0,6700	0,8900
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO6	1,0000	0,1900	0,9200	0,3800
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO7	0,0000	0,6400	0,2600	1,0000
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO8	0,0000	0,9300	0,1300	0,3400
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO9	0,0000	1,0000	0,0800	0,4700
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO10	0,5000	0,1600	0,6000	0,8700
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO11	1,0000	0,0400	0,9300	0,9400
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO12	0,5000	0,2500	0,6400	0,1900
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO13	0,5000	0,0800	0,7200	0,4700
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO14	0,0000	0,4700	0,3200	0,8500
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO15	0,5000	0,0700	0,4200	0,3800
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO16	0,0000	0,2700	0,4000	0,6400
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO17	0,5000	0,2200	0,6600	0,2300
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO18	0,5000	0,0200	0,5700	0,2300
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO19	0,5000	0,1000	0,6100	0,1700
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO20	1,0000	0,1500	0,9900	0,1300
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO21	1,0000	0,0700	1,0000	0,5500
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO22	0,5000	0,0600	0,4700	0,1900
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO23	0,5000	0,0400	0,5900	0,8900
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO24	0,5000	0,0700	0,5700	0,8300
<input checked="" type="checkbox"/> PRODUTO25	0,5000	0,0600	0,4800	0,3200
<input checked="" type="checkbox"/> limite per fil. 1	1,0000	0,1000	0,7000	0,8000
<input checked="" type="checkbox"/> limite per fil. 2	0,5000	0,3000	0,4000	0,5000
<input checked="" type="checkbox"/> limite per fil. 3	0,0000	0,5000	0,2000	0,2000

Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Figura B.10 – Aplicação PROMSORT – 10.000/25 Produtos.

Actions	C3	C2	C1
PRODUTO1			X
PRODUTO2			X
PRODUTO3			X
PRODUTO4			X
PRODUTO5			X
PRODUTO6			X
PRODUTO7		X	
PRODUTO8	X		
PRODUTO9	X		
PRODUTO10			X
PRODUTO11			X
PRODUTO12			X
PRODUTO13			X
PRODUTO14		X	
PRODUTO15			X
PRODUTO16		X	
PRODUTO17			X
PRODUTO18			X
PRODUTO19			X
PRODUTO20			X
PRODUTO21			X
PRODUTO22			X
PRODUTO23			X
PRODUTO24			X
PRODUTO25			X

Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Figura B.11 – Aplicação PROMSORT – 15.000/25 Produtos.

15.000		Rentabilidade	Gro	Demanda	Clientes	
Unit		unit	unit	unit	unit	
Cluster/Group		◆	◆	◆	◆	
<b>Preferences</b>						
MinMax		max	min	max	max	
Weight		0,69	0,26	0,02	0,02	
Preference Fn.		Usual	Usual	Usual	Usual	
Thresholds		absolute	absolute	absolute	absolute	
<b>Statistics</b>						
Minimum		0,0000	0,3000	0,1500	0,0800	
Maximum		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	
Average		0,4643	0,2679	0,6168	0,5396	
Standard Dev.		0,3517	0,1788	0,2494	0,2827	
<b>Evaluations</b>						
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO1	■	0,5000	0,3000	0,7300	0,8600
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO2	■	0,5000	0,1500	0,8600	0,4900
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO3	■	0,0000	0,1300	0,4400	1,0000
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO4	■	0,5000	0,1900	0,7100	0,5300
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO5	■	0,0000	0,3700	0,1500	0,7100
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO6	■	1,0000	0,2400	0,9000	0,6700
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO7	■	0,5000	0,1500	0,7100	0,8200
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO8	■	0,0000	0,4300	0,4400	0,1000
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO9	■	1,0000	0,1300	0,9400	0,5300
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO10	■	0,5000	0,2000	0,6600	0,2000
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO11	■	0,5000	0,2000	0,5700	0,8000
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO12	■	0,0000	0,5600	0,3300	0,9800
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO13	■	0,5000	0,1800	0,5600	0,5300
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO14	■	0,5000	0,3500	0,4800	0,8400
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO15	■	0,5000	0,1900	0,7200	0,6100
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO16	■	0,0000	1,0000	0,1600	0,4700
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO17	■	0,5000	0,1600	0,8200	0,2700
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO18	■	1,0000	0,1900	0,9900	0,2000
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO19	■	0,5000	0,2500	0,6300	0,0800
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO20	■	0,0000	0,2000	0,3300	0,3100
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO21	■	1,0000	0,2400	0,9800	0,4300
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO22	■	0,5000	0,2400	0,7600	0,2200
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO23	■	1,0000	0,1600	1,0000	0,9000
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO24	■	0,0000	0,2400	0,3600	0,1800
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUTO25	■	0,5000	0,1500	0,7300	0,8800
<input checked="" type="checkbox"/>	limite perfil 1	■	1,0000	0,1000	0,7000	0,8000
<input checked="" type="checkbox"/>	limite perfil 2	■	0,5000	0,3000	0,4000	0,5000
<input checked="" type="checkbox"/>	limite perfil 3	■	0,0000	0,5000	0,2000	0,3000

Fonte: Esta Pesquisa (2018).

Figura B.12 – Aplicação PROMSORT – 15.000/25 Produtos.

Actions	C3	C2	C1
PRODUTO01			X
PRODUTO02			X
PRODUTO03		X	
PRODUTO04			X
PRODUTO05		X	
PRODUTO06			X
PRODUTO07			X
PRODUTO08		X	
PRODUTO09			X
PRODUTO10			X
PRODUTO11			X
PRODUTO12	X		
PRODUTO13			X
PRODUTO14		X	
PRODUTO15			X
PRODUTO16	X		
PRODUTO17			X
PRODUTO18			X
PRODUTO19			X
PRODUTO20		X	
PRODUTO21			X
PRODUTO22			X
PRODUTO23			X
PRODUTO24		X	
PRODUTO25			X

Fonte: Esta Pesquisa (2018).