



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PRISCILLA PEREIRA DE LIMA DANTAS

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA SUPORTAR A
DEFINIÇÃO DE UMA POLÍTICA INTEGRADA DE
MANUTENÇÃO E ESTOQUE**

Recife

2017

PRISCILLA PEREIRA DE LIMA DANTAS

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA SUPORTAR A DEFINIÇÃO DE UMA
POLÍTICA INTEGRADA DE MANUTENÇÃO E ESTOQUE**

Dissertação de Mestrado apresentada à UFPE para a obtenção de grau de Mestre como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Área de Concentração: Pesquisa Operacional.

Orientador: Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante, Doutor.

Recife

2017

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

D129m Dantas, Priscilla Pereira de Lima.
Modelo multicritério para suportar a definição de uma política integrada de manutenção e estoque / Priscilla Pereira de Lima Dantas. - 2017.
64 folhas, Il. e Tabs.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2017.
Inclui: Referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Decisão multicritério. 3. PROMETHEE
4. P-Mediana. 5. Gestão de estoques. 6. Modelo de manutenção. I. Cavalcante, Cristiano Alexandre Virgínio (Orientador). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.) BCTG/2017-135

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE
PRISCILLA PEREIRA DE LIMA DANTAS

MODELO MULTICRITÉRIO PARA SUPORTAR A DEFINIÇÃO DE UMA
POLÍTICA INTEGRADA DE MANUTENÇÃO E ESTOQUE

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera a candidata PRISCILLA PEREIRA DE LIMA DANTAS **APROVADA**

Recife, **22 de fevereiro de 2017.**

Prof. CRISTIANO ALEXANDRE VIRGÍNIO CAVALCANTE, Dr. (UFPE)

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA FILHO, Dr. (UFPE)

Prof. EDUARDO DE AGUIAR SODRÉ, Dr. (UPE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter me dado a capacidade, força, determinação e saúde para chegar até aqui.

Aos meus pais. Meu pai, Antonio Amaro de Lima, que mesmo em memória, se faz presente em todos os meus passos, seja como meu exemplo, seja como meu alento. Minha mãe, Maria de Fátima Ferreira Pereira, minha grande companheira, que me dá apoio em tudo que faço, meu grande exemplo de coragem.

Aos meus irmãos, Carla e Ítalo, por serem amigos e parceiros, incentivadores e torcedores das minhas conquistas. A Luiz Guilherme, meu sobrinho, que me ensina a cada dia como ser uma pessoa melhor.

Ao meu marido, melhor amigo, companheiro, parceiro, Antonio Carlos de Macedo Dantas, por esse porto que eu posso ancorar, por ser a calma que minha mente agitada precisa, por ser minha inspiração para sempre ser melhor, por ser aquele que me sempre me dá forças para continuar.

Ao meu orientador, Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante, pelo interesse no meu trabalho, pela confiança a mim dada, pelas concessões feitas e pelo apoio concedido.

Aos professores e funcionários que integram o Departamento de Pós-Graduação de Engenharia de Produção por fazerem parte da construção do meu conhecimento.

Ao governo Brasileiro e à CAPES, por me fornecer um bolsa de estudos, que permitiu que eu me dedicasse a conclusão deste trabalho.

Aos amigos que fiz ao longo do mestrado, que me ajudaram a lidar com os dilemas das pós-graduação. E, em especial a Túlio Fidel Orrego Rodriguez, por toda a ajuda concedida para construção deste trabalho.

RESUMO

A necessidade de se manter no mercado e o aumento da competitividade devido a globalização provocou a necessidade de processos mais eficientes dentro das organizações. Com isso a manutenção, antigamente, atividade pouco valorizada nas empresas, passou a ser vista de forma diferente, passou a ser fator primordial na garantia do bom funcionamento de um sistema produtivo. Apesar disso, seu planejamento não é feito, normalmente, em alinhamento com os outros setores chaves de uma organização, como é o caso do estoque. Assim, algumas premissas assumidas pelo planejamento de manutenção não são inteiramente cumpridas, como a existência de peças sobressalentes sempre disponíveis. Daí surgiram os modelos integrados de manutenção e gestão de estoques, usados para buscar os níveis que melhor atendam as duas políticas. A integração é feita, normalmente, baseada no critério de custos totais, mas nem sempre só esse fator é de interesse do tomador de decisão. Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo a criação de um modelo multicritério para suportar a utilização de um modelo integrado desenvolvido por Rodriguez (2016) baseado no modelo de manutenção preventiva *Piggyback* desenvolvida por Liang (1985). Foram determinados novos critérios e desenvolveu-se um modelo de sobreclassificação utilizando o PROMETHEE II para gerar uma ordenação dos valores que atendem aos interesses do decisor.

Palavras-chave: Decisão multicritério. PROMETHEE. Gestão de estoques. Modelo de manutenção.

ABSTRACT

The necessity of stay the market and increase competitiveness due to globalization has led to the need for more efficient processes within organizations. With this, the maintenance, in the past, a little valued activity in the companies, started to be seen in a different way, became one of the primaries factors in guaranteeing the proper functioning of a productive system. Despite this, its planning is not normally done in alignment with other key sectors of the organization, such as inventory. Thus, some assumptions assumed by maintenance planning are not fully complied with, such as the availability of spare parts whenever its need. Hence, the integrated models of inventory maintenance and management came out, used to seek the levels that best fit for the two policies. Integration is usually based on the criteria of total costs, but not always this factor is the only interest of the decision maker. Therefore, the present work aims at the construction of a multicriteria model to support an application of an integrated model developed by Rodriguez (2016) based on the model of preventive maintenance Piggyback developed by Liang (1985). New criteria were developed and an outranking method was developed using PROMETHEE II to generate an ordering of values that serve the interests of the decision maker.

Keywords: Multicriteria decision. PROMETHEE. Spare parts management. Maintenance Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Curva da banheira	18
Figura 2.2 - Modelos Integrados de Manutenção e Gestão de Estoques de acordo com Horenbeek et al (2013)	24
Figura 2.3 - Procedimento para resolução de problemas e construção do modelo multicritério	34
Figura 3.1 - Caso 1 Piggyback	37
Figura 3.2 - Caso 2 Piggyback	37
Figura 3.3 - Caso 3 Piggyback	38
Figura 3.4 - Gráfico diamante resultante do Promethee II	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Relações de Preferências	29
Tabela 2.2 - Critérios gerais para o PROMETHEE.....	31
Tabela 3.1 - Parâmetros envolvidos nos modelos - Simulação	43
Tabela 3.2 - Dados de entrada das variáveis de decisão (s, s, T) - Algoritmo de otimização ..	43
Tabela 3.3 - Critérios de escolha para o modelo multicritério	45
Tabela 3.4 - Unidades de medida dos critérios.....	48
Tabela 3.5 - Peso dos critérios.....	48
Tabela 3.6 – Taxa de manutenções não programadas de B (k^2 cópias).....	50
Tabela 3.7 - Taxa de manutenções preventivas de B (k^2 cópias).....	50
Tabela 3.8 - Custo médio de serviço (\$/k cópias)	50
Tabela 3.9 – Perda por indisponibilidade (k cópias)	51
Tabela 3.10 - Vida média do sistema (k cópias).....	51
Tabela 3.11 - Vulnerabilidade (k cópias)	51
Tabela 3.12 - Matriz de consequências do modelo	52
Tabela 3.13 - Ordem obtida pelo fluxo líquido do PROMETHEE II	53
Tabela 3.14 - Variação dos pesos dos critérios por cenário	55
Tabela 3.15 - Análise de Sensibilidade I: Aumento de 35% no valor de um critério (cenário 1)	55
Tabela 3.16 - Análise de sensibilidade II: Aumento de 45% no peso de um critério (cenário 2)	56
Tabela 3.17 - Análise de sensibilidade III: Aumento de 40% no valor de um critério (cenário 3).....	57
Tabela 3.18 - Análise de sensibilidade IV: Aumento de 50% do peso de um critério (cenário 4).....	58
Tabela 3.19 – Análise de sensibilidade V: aumento de 60% do peso de um critério (cenário 5)	59
Tabela 3.20 - Análise de sensibilidade VI: aumento de 45% do peso de um critério (cenário 6)	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Descrição do Problema.....	14
1.2	Justificativa.....	15
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	Manutenção.....	17
2.1.1	Classificação da manutenção	19
2.1.2	Políticas de manutenção	20
2.2	Gestão de estoques.....	21
2.3	Modelos integrados de políticas de manutenção e gestão de estoques 23	
2.3.1	Manutenção baseada em bloco com a política de revisão periódica do estoque 23	
2.3.2	Manutenção baseada em bloco com política de revisão contínua de estoque: 24	
2.3.3	Manutenção baseada em idade com a política de revisão periódica de estoques.....	25
2.3.4	Manutenção baseada em idade com política de revisão contínua de estoques.....	25
2.3.5	Manutenção preditiva com política de revisão periódica de estoques	25
2.3.6	Manutenção preditiva com política de revisão contínua de estoques	26
2.4	Modelos de apoio à decisão multicritério	26
2.4.1	Estruturas de Preferências.....	28
2.4.2	Classificação dos modelos de apoio à decisão multicritério.....	30
2.4.3	Promethee II.....	30
2.4.4	Procedimento para definição de um modelo multicritério.....	32
3	ESTRUTURAÇÃO DO MODELO MULTICRITÉRIO A PARTIR DO MODELO INTEGRADO DE MANUTENÇÃO COM GESTÃO DE ESTOQUE.....	36
3.1	Modelo integrado de manutenção e gestão de estoques de sobressalentes	36
3.1.1	Política de manutenção preventiva <i>Piggyback</i>	36
3.1.2	Gestão de estoque de sobressalentes	39
3.1.3	Política de manutenção integrada com a gestão de sobressalentes	41

3.2	Definição de um modelo multicritério.....	44
3.2.1	Modelo Multicritério para suportar a integração	44
3.2.2	Análise de Sensibilidade	54
4	CONCLUSÃO.....	62
4.1	Dificuldades e limitações	63
4.2	Recomendações para trabalhos futuros	63
	REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

A busca pela excelência operacional, que leva a um conseqüente melhor aproveitamento de recursos, redução de custos e, principalmente, a satisfação dos clientes, é feita pelas organizações de maneira constante e urgente, visto que a cada dia o mercado se torna cada vez mais competitivo. Como maneira de verificar se o produto atende a tais quesitos supracitados, a qualidade é um fator primordial. Para tanto são estabelecidos critérios e parâmetros para verificação do alcance da mesma.

A modernização dos equipamentos e a utilização de novas tecnologias para automação de sistemas são a principal forma de melhorar o desempenho do processo produtivo das empresas e atingir os critérios definidos para qualidade. Sendo assim, a complexidade imposta por esses avanços atrela-se a grandes possibilidades de falhas nos equipamentos. Logo, a manutenção surge como forma de garantir o pleno funcionamento dos equipamentos e, conseqüentemente, o atingimento da qualidade. Para tanto através de políticas de manutenção busca-se reduzir o impacto de quebras de máquina em produção (CHEN, HSU & CHEN et. al., 2006).

A atividade de manutenção, mesmo benéfica para o processo produtivo e crucial para o bom desempenho do mesmo, é vista, por muitas organizações, como uma atividade que não gera lucro, somente gastos, uma vez que o processo precisa ser parado para que algum tipo de intervenção seja realizada nos equipamentos. Na verdade, sem tais intervenções as perdas seriam muito maiores, pois não seria possível entregar o produto na hora e com a qualidade desejada para o cliente. A dificuldade de enxergar a manutenção como uma atividade que favorece a operação reside na dificuldade de mensurar o lucro obtido com essa atividade. Para Wang et. al. (2008), apesar de incorrer em custos, a manutenção é peça chave para manter os níveis de confiabilidade e segurança dos sistemas produtivos. Assim, pesquisadores e pessoas envolvidas diretamente na atividade de manutenção fazem grandes esforços para melhorar a manutenção e reduzir seus custos.

De maneira tradicional, as políticas de manutenção consideram apenas conserto e substituição. A existência de peças sobressalentes em estoque é uma premissa. Na prática, a estrutura da manutenção afeta diretamente o nível de estoque das peças sobressalentes. Se o nível for baixo, a manutenção será prejudicada. Se o nível for alto, os custos de manutenção do estoque serão elevados (YOO, KIM & SEO, 2001).

Tratar a gestão da manutenção e a gestão de estoques de peças sobressalentes de uma forma conjunta é uma questão necessária na teoria e pouca feita na prática. Segundo Armstrong & Atkins (1996), a abordagem tradicional das políticas de manutenção assume que as peças sobressalentes estão disponíveis no momento em que são requisitadas, além disso, a política de reposição escolhida é aquela que minimiza os custos de manutenção de troca e quebras. Já a abordagem tradicional das políticas de gestão de estoques é baseada na realização de previsões sobre a distribuição da demanda e daí escolhida uma política de pedidos que minimize os custos dos estoques de armazenagem e falta de material armazenado. Sendo realizadas por departamento distintos e que pouco se comunicam, as duas políticas desconhecem ou ignoram os efeitos que provocam uma na outra. Para Horenbeek et al. (2013), a junção de manutenção e peças sobressalentes leva em consideração o trade-off entre manutenção e políticas de estoque.

A definição da política de manutenção deve interferir diretamente na definição da política de estoque, uma vez que políticas de manutenção corretivas requerem um estoque de peças que atendam as quebras que ocorrerem no sistema produtivo. As políticas de manutenção preventiva e preditiva dão a oportunidade de a política de estoque ser mais flexível e não ter armazenado todo de tipo de peça sobressalente, uma vez que pode se organizar diante das predições feitas nas inspeções e trocas programadas. Daí a dificuldade de desassociar as duas políticas, visto que são complementares. Para Porras (2008), apesar dos gestores entenderem que o estoque de peças é necessário para suportar as atividades de manutenção e proteger os equipamentos de falhas, muitas empresas enfrentam o desafio de manter grandes estoques com custo alto de armazenamento e obsolescência. Sendo assim, para Porras (2008) uma análise de custo efetiva é importante para avaliar os efeitos do estoque nas peças sobressalentes.

Um fato observado ao se estudar as políticas de manutenção integrada de manutenção e estoque é o que a grande maioria leva em consideração apenas um critério para justificar tal integração, sendo ele o custo, em outras palavras, o único foco da melhoria da gestão dos estoques em função da manutenção é a redução dos custos.

Porém, a experiência leva a perceber que o custo não é o único critério que deveria influenciar na hora de realizar a integração de uma política de manutenção com a gestão do estoque. Alguns fatores podem e devem influenciar, como o risco, disponibilidade ou confiabilidade.

Partindo dessa lógica, esse trabalho tem o propósito de utilizar modelos multicritérios para suportar uma política de manutenção integrada com uma política de gestão de estoques

com o objetivo de melhorar o serviço prestado por ambos, levando em consideração mais de um critério de decisão, uma vez que a partir disso é possível reduzir custos, gerar maior utilização dos recursos, aumentar a disponibilidade e confiabilidade do sistema, entre outros.

Inicialmente, foi feito um levantamento bibliográfico a fim de verificar os modelos de manutenção integrados a gestão de peças sobressalentes, a existência ou não de modelos multicritérios que atendam a integração com mais de um critério de importância. Logo, buscou-se utilizar um modelo multicritério que pudesse ser usado para identificar e dar pesos os possíveis fatores que influenciam a necessidade de integração da manutenção com a gestão de estoque. Validou-se o modelo proposto para verificar a possibilidade de utilização de mais um fator de importância na integração de políticas de manutenção e gestão de estoques.

1.1 Descrição do Problema

A manutenção é uma atividade dinâmica que visa promover o funcionamento de uma planta, bem como torná-la eficiente em termos de custos (XIE & WANG, 2008). Uma das premissas é que sempre existe disponibilidade de peças sobressalentes em estoque, para atender a demanda do planejamento de manutenção. Em termos práticos, quando uma atividade de manutenção é iniciada, peças de reposição devem estar à disposição ou podem ser adquiridas em tempo hábil para que a manutenção não seja postergada (LIAO & RAUSCH, 2010). A questão, porém, é que, na prática, essa premissa na maioria das vezes não ocorre. A gestão de estoque é feita independentemente do planejamento de manutenção e atendem as peças que entram no orçamento destinado ao estoque, e relaciona-se também ao espaço disponível para armazenagem. Além disso, nem sempre as peças estão disponíveis, uma vez que existe um tempo entre pedido e entrega. Para Xie & Wang (2008) não existe uma política ótima se existe um tratamento separada ou sequencial entre manutenção e estoque.

Segundo Godoy et al (2014), a gestão de sobressalentes tem papel fundamental da eficiência operacional nas indústrias de ativos intensos. As principais peças de reposição de um equipamento relacionam-se com um alto investimento, requisitos de alta confiabilidade, e sua falta pode acarretar uma paralisação da planta com efeitos importantes na produtividade. Logo, uma maneira de evitar perdas de produção é sempre ter a mão peças que quando em falta podem provocar tal acontecimento, especialmente aquelas que ocasionam maiores perdas e penalidades.

Para Panagiotidou (2013), qualquer política de manutenção de substituição deve ser combinada com uma política de pedidos de peças adequada para a reposição em tempo das

peças sobressalentes. No caso, a demanda pelas peças sobressalentes seria orientada pela falha dos mecanismos das unidades em operação, bem como pelas políticas de manutenção preventiva, caso exista. Apesar de mais peculiar, a gestão de sobressalentes é administrável, uma vez que os tempos de manutenção são adaptáveis. Além disso, vale ressaltar que os custos pela falta de peças de reposição são, consideravelmente, mais elevados que os da falta de produtos regulares, já que a falta daqueles podem resultar em paradas de produção excessivas. Então, segundo Panagiotidou (2013), políticas convencionais de gestão de estoque não são adequadas para peças sobressalentes, sendo necessários políticas para tal caso.

Sendo assim, é possível perceber a necessidade de um controle integrado na gestão de estoques de sobressalente e uma política de manutenção, visto que a primeira tem influência direta na eficiência e eficácia da segunda. Além disso, a falta de integração entre duas áreas intimamente relacionadas é motivo de estudo para identificar uma maneira de tornar as duas atividades eficientes a fim de trazer maior qualidade e produtividade para a organização e, também, equilibrar os custos. É possível ver também, que o custo não é o único fator que influencia a manutenção e os estoques, é necessário levar em consideração outros critérios a fim de obter a melhor política de manutenção integrada com a gestão de estoque para uma organização, especialmente quando o sistema em que o dispositivo opera é um sistema de fornecimento de serviços.

1.2 Justificativa

A exigências de mercado cada vez maiores e com grande rotatividade requer que as empresas sigam o mesmo ritmo, entregando produtos de qualidade no momento esperado para o cliente, para tanto é preciso que a produção corresponda às expectativas da demanda. Devido a necessidade de processos produtivos mais eficientes e eficazes é preciso que haja uma sintonia entre os setores chaves de uma organização. A manutenção é fundamental para o desempenho esperado, bem como a disponibilidade de estoque das peças sobressalentes. Uma vez que seus planejamentos e gestão são feitos, na maioria dos casos, de forma independentes, pode existir e, provavelmente existe, a probabilidade de que as medidas tomadas em cada um não venham a viabilizar, ou mesmo facilitar, o trabalho do outro. O que deve ser salientado é que tais planejamentos devem sempre buscar o menor custo para que o retorno seja favorável à organização, assim como, possam promover um desempenho adequado do sistema ao qual o dispositivo está vinculado.

Em decorrências de vários estudos de integração de políticas de manutenção e gestão de estoques terem apresentados resultados melhores que planejamentos isolados de cada área, o presente trabalho busca encontrar resultados favoráveis ao utilizar uma política de manutenção específica com uma política de gestão de estoque, através da utilização de modelos multicritérios para determinar outros fatores, além dos custos, que venham a ser importantes para o bom desempenho das políticas integradas, como risco, confiabilidade ou disponibilidade.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é a construção de uma modelo multicritério para suportar a utilização e parametrização de um modelo integrado de política de manutenção e gestão de estoques de sobressalentes levando em consideração critérios que vão além da redução dos custos.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para o atingimento do objetivo geral, será preciso alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Levantamento bibliográfico acerca de políticas de manutenção e gestão de estoque integrados, bem como modelos multicritérios atrelados as mesmas;
- Definição do modelo integrado de manutenção e gestão de estoque que será objeto de estudo;
- Definição do modelo multicritério que será utilizado para suportar o modelo integrado de política de manutenção e gestão de estoque;
- Elaborar e propor um modelo multicritério para suportar o modelo integrado;
- Verificar a funcionalidade do novo modelo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo irá tratar dos principais conceitos associados ao objeto de estudo deste trabalho – manutenção, gestão de sobressalentes, políticas integradas e decisões multicritério.

2.1 Manutenção

Com o aumento da presença da automação em praticamente todas as áreas da produção industrial, a necessidade de manutenção também cresce. Uma vez que existe o desgaste tanto pelo uso, como pelo tempo, os equipamentos precisam ser reparados para que atendam às especificações do produto e da máquina.

Para Dekker (1996), manutenção é definida como uma combinação de atividades técnicas e administrativas que visam manter um equipamento ou parte dele, ou restaurá-lo para um estado que possa desempenhar a função requerida. Para o mesmo autor, os objetivos da manutenção são: garantir o funcionamento do sistema, quanto a disponibilidade, eficiência e qualidade do produto; garantir a vida útil do equipamento; garantir segurança; e, assegurar o bem-estar humano. Podemos acrescentar ainda como objetivo, a minimização dos custos do ciclo de vida do equipamento.

A manutenção está associada a características probabilísticas, ou seja, os acontecimentos que acarretam a necessidade de uma intervenção da manutenção são dados pela probabilidade de um item falhar. Daí, surgem alguns conceitos básicos que precisam ser abordados para o planejamento e execução da manutenção, como falha e defeito, confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Segundo Almeida e Souza (2001) uma falha ocorre quando um item perde uma função, deixando de executar suas atividades, podendo ser classificada de acordo com seus efeitos, sua origem e sua causa. Para Babiarz e Chudy-Laskowska (2015) falha é definida como a perda completa ou parcial das propriedades técnicas de um sistema, gerando uma diminuição significativa na eficiência ou mesmo a completa quebra. Já defeito, segundo a NBR 5462 (1994), é considerado um desvio de uma propriedade de um item em relação aos seus requisitos, ou seja, a perda da função se dá de forma parcial. O item ainda pode desempenhar seu papel, de forma restrita ou não, mas requer intervenção o quanto antes.

A confiabilidade pode ser definida segundo Almeida e Souza (2001) como sendo a probabilidade de um equipamento operar sem falhas em um determinado intervalo de tempo. Sua determinação está relacionada com o ciclo de vida de um item, que pode ser representado pela curva da banheira (Fig. 2.1), que recebe este nome pelo seu formato no gráfico.

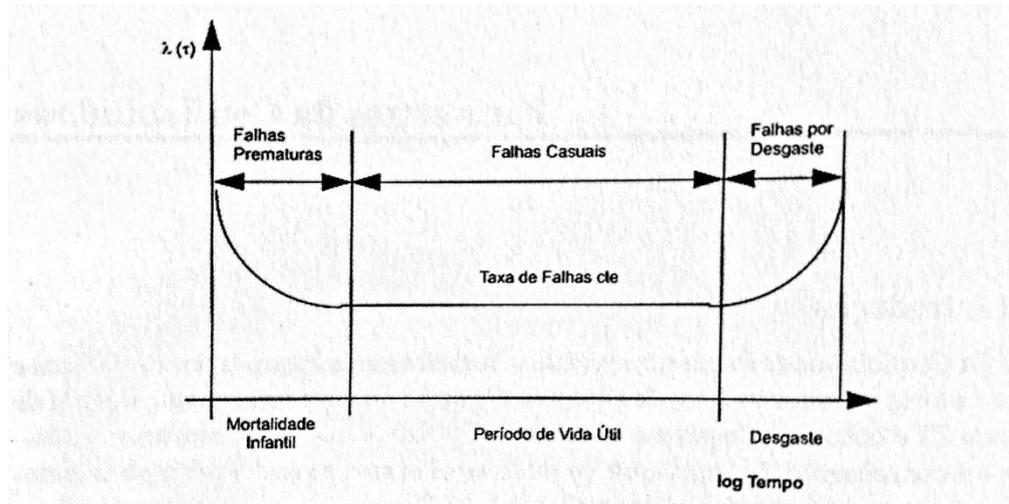


Figura 2.1- Curva da banheira
Fonte: Lafraia (2014)

A curva é dividida em três fases, na primeira, para Lafraia (2014) chamada de mortalidade infantil, as falhas ocorrem prematuramente, sendo a taxa decrescente. Segundo Almeida & Souza (2001), em geral, as falhas são provenientes de problemas de projeto e execução do mesmo, transporte ou instalação, para o autor procura-se evitar o uso do item nessa fase. A segunda fase, na qual a taxa de falha se torna constante, sendo considerada, segundo Almeida & Souza (2001), a fase operacional, sendo chamada de vida útil do equipamento. Nesta fase, segundo Lafraia (2014), as falhas são aleatórias, pouco podendo ser feito para evita-las. Já a terceira fase, o período de desgaste, a taxa de falhas se torna crescente, sendo o fim da vida útil do item. Segundo Almeida & Souza (2001), deve-se substituir o item nessa fase. Para o mesmo autor, um item só deve ser entregue ao cliente quando se encontra na segunda fase da curva da banheira.

Segundo a NBR (1994), manutenibilidade pode ser definida como a probabilidade de atividade de manutenção ser desenvolvida em um dado intervalo de tempo, quando feita sob condições pré-estabelecidas e procedimentos definidos. Segundo Almeida e Souza (2001) seu conceito surgiu em um contexto em que o projeto de um sistema deveria ser pensado para agilizar o processo de troca ou reparo de um item.

Disponibilidade, segundo Almeida & Souza (2001), é a composição da confiabilidade e manutenibilidade. Em suma, é a probabilidade de um sistema estar disponível para realizar suas atividades dentro de um intervalo de tempo. Logo, a junção dos dois primeiros atributos determina se um sistema estará disponível ou não para a realização de suas funções.

A grande questão relacionada às atividades de manutenção está relacionada com a influência nos lucros da empresa. Uma vez que é vista apenas como uma atividade onerosa, sua prática é negligenciada. O que precisa ser levado em consideração, na verdade, é o fato de que tais atividades de manutenção evitam que altos custos venham a atingir a empresa por meio de equipamentos quebrados e/ou com defeito. Além disso, tempo de produção perdido, provoca o atraso na entrega dos produtos ao cliente e causa má impressão sobre a empresa, esse tipo de custo é muito difícil de mensurar, por isso pouco se utiliza.

Apesar disso, a manutenção precisa ser realizada seja para manter ou restaurar equipamentos. A seguir apresenta-se a classificação da manutenção.

2.1.1 Classificação da manutenção

A manutenção pode ser inicialmente classificada em duas grandes classes: Manutenção Corretiva e Manutenção Preventiva (WANG & PHAM, 1996). A manutenção corretiva está baseada na ação após a falha. Ou seja, depois que a falha ocorre é que algum tipo de intervenção será realizada no equipamento. Já a manutenção preventiva tem como objetivo a prevenção de falhas, em outras palavras, a identificação dos defeitos que podem levar a falhas. É programada e ocorre em momentos determinados. Para os mesmos autores, a manutenção pode ser classificada baseada com o grau em que a condição de funcionamento do equipamento é restaurada pelas atividades de manutenção, sendo eles:

- Manutenção perfeita: restaura o equipamento para uma condição de tão bom quanto novo;
- Manutenção mínima: devolve a condição de funcionamento que o equipamento estava antes da falha, ou seja, a mesma taxa de falha que possui antes.
- Manutenção imperfeita: deixa o equipamento mais jovem. Não tão bom quanto novo, mas não tão ruim quanto velho. É algo entre a manutenção perfeita e a manutenção mínima;
- Manutenção ruim: aumenta a taxa de defeitos do equipamento, mas não provoca falhas. Tornando o estado do equipamento pior que antes.
- Pior manutenção: atividade de manutenção que provoca a falha e quebra do sistema.

Outra forma de classificar a manutenção é quanto a programação: programadas e não-programadas, sendo esta feita em função da necessidade e aquela baseada em critérios de tempo e oportunidade. Segundo Siqueira (2014), a manutenção programada pode ser periódica, feita

a intervalos de tempos fixos, ou aperiódicas, em intervalos variáveis, a depender da oportunidade.

Além disso, a manutenção pode ser classificada de acordo com a atitude perante a falha, e segundo Siqueira (2012), existem seis categorias:

- Manutenção corretiva: corrige as falhas que já ocorreram;
- Manutenção Preventiva: atividades feitas antes da ocorrência da falha para prevenir e evitar suas consequências;
- Manutenção Preditiva: antecipação da falha por meio do acompanhamento do estado do equipamento;
- Manutenção Detectiva: busca identificar falhas que já ocorreram, mas passaram despercebidas;
- Manutenção Produtiva: tem por objetivo aumentar a utilização e produtividades dos equipamentos;
- Manutenção Proativa: busca otimizar processo e projeto de novos equipamentos para melhorar a manutenção.

2.1.2 Políticas de manutenção

Políticas de manutenção são compostas pelo conjunto de ações que serão tomadas para preservar o desempenho e disponibilidade dos sistemas, enquadrando o tipo ou tipos de manutenção a ser utilizadas.

Quando falamos em políticas de manutenção preventivas, existem duas classificações: substituição e inspeção. A substituição pode ser idade ou por bloco. Na primeira, são realizadas atividades de manutenção em intervalos de tempo predefinidos, de acordo com a idade do equipamento, já a substituição em bloco, todos os itens de um sistema são substituídos em intervalos predefinidos.

A inspeção se trata do acompanhamento do estado do equipamento, ou seja, a detecção da condição que o mesmo se encontra, sem que ocorra uma intervenção no equipamento efetivamente.

Os equipamentos podem ser distinguidos em reparáveis e não reparáveis. O presente trabalho trata de itens não reparáveis. Segundo Horebeek et al. (2013), as políticas de manutenção são baseadas na falha ou preventivas. As políticas de manutenção preventivas para itens não reparáveis são classificadas como (WANG, 2002):

- Preventiva baseada na idade: a manutenção está baseada na idade do equipamento, quando este atingir intervalos pré-estabelecidos, uma manutenção é feita.
- Preventiva baseada em blocos: a manutenção de um bloco é feita independente do histórico de falhas e da idade.
- Preventiva sequencial: com o passar do tempo, os equipamentos precisam de uma manutenção com maior frequência, então, os intervalos serão reduzidos gradativamente.
- Limite de falha: a manutenção é feita no limite da falha, predeterminado baseado no histórico do equipamento.
- Em grupo: ocorre quando um grupo de peças são reparadas em um determinado tempo fixo ou baseado na idade do sistema.
- Oportunística: quando uma falha em um componente possibilita a intervenção em outro componente que precisava de reparo, mas não estava programado para acontecer.

2.2 Gestão de estoques

Estoque, segundo Slack (2002), pode ser definido como acumulação armazenada de recursos materiais em um sistema de transformação, ele existe, basicamente, porque existe uma diferença entre a taxa de fornecimento e da demanda. Existem diversas razões pelas quais ocorrem o surgimento de estoques, que segundo Corrêa e Corrêa (2012) são:

- Incertezas na previsão tanto de demanda quanto de suprimento;
- Impossibilidade ou inviabilidade de coordenar suprimento e demanda – a curva de resposta de fornecedor pode ser diferente da do consumidor. Relaciona-se à capacidade, tecnologia, fluxo de informação e meios de obtenção da matéria;
- Especulação - a escassez ou oportunidade diante de algum produto ou matéria-prima pode ocasionar o surgimento de estoques;
- Necessidade de preenchimento do canal de distribuição (pipeline) - grandes distâncias provocam a necessidade de armazenamento para não deixar faltar produto em algum ponto da rede.

A utilização de estoques incorre em custos associados pela mera existência. Segundo Moreira (2008), os seguintes custos são distinguidos:

- Custo do item: é considerado o preço unitário do item;

- Custo do pedido: valor que representa a encomenda do item. É o somatório de todos os custos incorridos desde o momento em que o pedido é feito até o momento em que o item é estocado;
- Custo unitário de manutenção: formado pelo custo de capital e o custo de armazenamento. Sendo o primeiro relacionado ao custo de oportunidade, ou seja, o capital investido no item estocado está imobilizado. Já o segundo, abrange o custo do espaço ocupado, seguro, taxas, perdas, obsolescência/deterioração do item; e,
- Custo de falta de estoque: reflete a consequência da falta de estoque: vendas perdidas, imagem da empresa prejudicada, demora na entrega.

Justificada a necessidade de manutenção de estoques, foram desenvolvidos modelos de gestão de estoques que orientam a melhor maneira de administrá-lo, que servem para determinar o que deve ser mantido no estoque, a quantidade, o tempo de reposição e quantidade de ressurgimento. Segundo Rego & Mesquita (2011) modelos de gestão de estoques para produtos com demanda alta e independente são uma área consolidada da gestão das operações e podem ser classificados como:

- Modelo de Revisão Contínua (R, Q): nesse modelo o estoque é monitorado continuamente e, quando o nível atingir o ponto R, um lote de tamanho Q é solicitado. De acordo com Horenbeek et al (2013) existem duas políticas usadas na revisão contínua, a (s, S), na qual o pedido de reposição é feito para elevar ao nível S sempre que o estoque estiver abaixo de s; a (s, Q), que Q unidades são solicitadas quando o estoque ficar abaixo de s.
- Modelo de Revisão Periódica: a reposição é feita em intervalos de tempo fixos com o objetivo de estabelecer o nível máximo do estoque. A política utilizada é a (R, S), no qual R é o intervalo de tempo de revisão do estoque. No início de cada período, um pedido é feito para elevar o estoque ao nível S.
- Modelo de Estoque Base: a cada retirada do estoque, um pedido é feito na mesma quantidade para repor a linha de base, a fim de manter a posição do estoque constante e igual a B, considerando o material em estoque e o pedido em aberto.

Ainda segundo Rego & Mesquita (2011), os dois primeiros modelos são mais utilizados para itens com alta demanda, o terceiro é mais recomendando quando a demanda é baixa.

Ao se falar em estoque para manutenção, fala-se em peças sobressalentes, que são peças utilizadas para fazer trocas quando o equipamento falha ou atingiu o tempo de substituição.

Para Ferreira et al (2001) o dimensionamento das peças sobressalentes afeta diretamente os custos e a lucratividade da empresa, pois relaciona-se com o tempo de parada do sistema para manutenção ou a interrupção do processo. Assim, o excesso e a escassez de peças de reposição geram efeitos negativos na organização. O grande desafio da gestão de estoque para manutenção é unir objetivos conflitantes, que são a disponibilidade de peças para as atividades de manutenção, garantindo a disponibilidade do sistema e, reduzir os custos de aquisição e armazenamento de estoque.

Devido ao fato de que o planejamento de compras e armazenamento é feito por um departamento diferente, sua gestão é feita de maneira generalizada, como para todos os itens presentes no estoque. Sendo assim, não atende as reais necessidades do departamento de manutenção. É necessário levar em consideração a criticidade (REGO & MESQUITA, 2011) das peças para que seja feito a gestão e planejamento do estoque, bem como a vida útil da mesma.

2.3 Modelos integrados de políticas de manutenção e gestão de estoques

A premissa utilizada pelas atividades de manutenção de que existem peças sobressalentes em estoque na hora que a mesma é requerida é algo que na maioria das vezes não ocorre. Como os respectivos planejamentos são realizados independentemente um do outro, muitas vezes o estoque de sobressalentes não atende a necessidade da manutenção.

Com isso, ocorrem custos devido à falta de produção, caso tenha havido uma quebra, custos por perda de qualidade percebida pelo cliente, custo pela necessidade de pedidos de emergência. Ou seja, quando não existe uma sintonia entre a manutenção e a gestão de estoque de sobressalentes, muitos custos podem surgir devido a não realização da manutenção.

Devido a esse fato, muitos autores começaram a estudar modelos integrados de políticas de manutenção e gestão e planejamento de estoques. Horenbeek et al. (2013) fez um levantamento dos principais tipos de modelos integrados, vistos na Figura 2.2, que na essência variam de acordo com as premissas e condições estabelecidas, como pode-se ver a seguir.

2.3.1 Manutenção baseada em bloco com a política de revisão periódica do estoque

Segundo Brezavscek et al (2003), se um item falha, é trocado imediatamente, enquanto os outros componentes são trocados em um intervalo de tempo determinado, se não existe peça sobressalente, a troca aguarda até o momento do ressuprimento. O *downtime* de componentes pode representar grandes perdas produtivas e consequente aumento dos custos. A revisão

periódica (R, S) das peças sobressalentes requer que as peças sejam reabastecidas em um só lugar. Então de acordo com a política de manutenção de substituição em bloco é razoável escolher o ponto de ressuprimento equidistante ao intervalo da manutenção. Para Acharya et al (1986), quanto maior o intervalo de substituição em bloco, menor a demanda por peças de reposição, o que pode gerar um trade-off entre os custos de substituição e os custos de estoques relacionados as peças sobressalentes. Sendo assim, pode-se esperar um intervalo maior de substituição em uma política integrada do que na utilização das políticas isoladamente.

Nesse modelo de integração são assumidos o mesmo intervalo de tempo de manutenção em bloco e revisão periódica do estoque para modelos de período simples, e em modelos de vários períodos o intervalo de tempo de pedido é múltiplo do intervalo de substituição. Nesse tipo de modelo o lead time é negligenciado. Um processo iterativo é feito para otimizar os intervalos de tempo coincidentes.

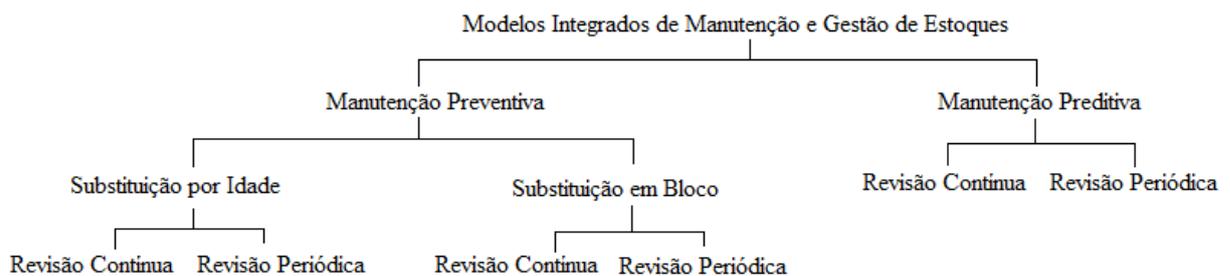


Figura 2.2 - Modelos Integrados de Manutenção e Gestão de Estoques de acordo com Horenbeek et al (2013)

Fonte: Esta pesquisa (2017)

2.3.2 Manutenção baseada em bloco com política de revisão contínua de estoque:

Segundo Saker et al (2000) uma política de manutenção em bloco é indicada para itens que requerem uma atenção menos frequente, e para tanto a política de gestão de estoques recomendada é a de revisão contínua. A falha estocástica de componentes operacionais esgota o estoque de peças sobressalentes e um pedido de itens (S-s) é feito sempre que o nível atinge ou fica abaixo do nível de reposição s.

Devido à dificuldade de construção de modelos matemáticos, a maior parte dos trabalhos desenvolvidos é feita por meio de simulação computacional. Saker et al (200) utilizou uma distribuição gama para o tempo de reparo e a introdução de células de trabalho constituídas por várias unidades estatisticamente independentes. Ilgin & Tunali (2007) desenvolveram,

baseados em um algoritmo genético, uma simulação de otimização para identificar a melhor política de gestão de sobressalentes usando um caso real no setor automotivo.

2.3.3 Manutenção baseada em idade com a política de revisão periódica de estoques

Armstrong e Atkins (1996) fizeram uma combinação das políticas de substituição por idade e revisão periódica do estoque de sobressalentes buscando o ponto ótimo de substituição e tempo de pedido de itens para o estoque. Os autores buscaram reduzir a taxa de custo, levando em consideração os custos de quebra ou substituições corretivas, além dos custos de manter um item em estoque.

Para tanto, foi encontrada uma função pseudo-convexa, na qual o ponto mínimo global atende as condições de Karush-Kuhn-Tucker, resultando na combinação das políticas. Com isso, o uso de métodos de programação não-linear é razoável para uma política de menor custo.

2.3.4 Manutenção baseada em idade com política de revisão contínua de estoques

O trabalho desenvolvido por Kabir & Al-Olayan (1996) estabelece uma distinção entre custos de pedidos de emergência e custos de pedidos regulares e inclui um lead time randômico baseado na distribuição de Weibull no momento de elaborar a política. O modelo trabalha com otimização da substituição por idade e revisão contínua de estoques que não permite a substituição e pedidos com tempos coincidentes. Uma combinação de simulação de eventos discretos e enumeração limitada foi desenvolvida para determinar os valores ótimos para tais políticas.

2.3.5 Manutenção preditiva com política de revisão periódica de estoques

Segundo Elwany & Gebraeel (2007) uma predição acurada dos tempos de falhas dos equipamentos é necessária para melhorar as decisões de manutenção e estoque de peças sobressalentes. A maioria dos modelos existentes focam nas características de confiabilidade de uma população, como a distribuição dos tempos de falha, para desenvolver uma estratégia de decisão. Porém, tais modelos não levam em consideração a deterioração física dos equipamentos, que deve ser realizada de maneira individual. Sendo assim, a previsibilidade das falhas não é precisa e, conseqüentemente, as decisões de manutenção e estoque.

Sabendo que deve existir um balanceamento entre os custos de uma substituição de item antecipada e o custo de uma falha não prevista. E ainda mais, que o tempo de pedido de reposição de estoque e a quantidade devem ser bem planejadas para manter o custo de

armazenamento mínimo e evitar escassez, os Elwany & Gebraeel (2007) utilizaram o modelo de Armstrong & Atkins (1996) e propuseram uma manutenção baseada na condição, ou seja, na predição das falhas, e um política de revisão periódica do estoque. Através de atualizações dinâmicas das distribuições de tempo de vida após cada inspeção, informações mais precisas são disponibilizadas para preparar os tempos de substituição e de pedidos peças sobressalentes.

2.3.6 Manutenção preditiva com política de revisão contínua de estoques

Segundo Xie & Wang (2008), a revisão contínua é uma estratégia comum em estoques. Do ponto de vista de eficiência de custos, a estratégia de estoque deve levar em consideração o consumo de peças sobressalentes da manutenção. Sendo assim, propuseram uma integração das políticas de manutenção baseada na condição e a revisão contínua do estoque (T, s, S), na qual T representa o período de inspeção do equipamento, s o ponto que deve ser pedido o ressuprimento, e S, o nível máximo de estoque. Uma combinação de simulação e algoritmo genético foi usado para encontrar boas soluções para essa estratégia de integração. A formulação do custo leva em consideração os custos de inspeção.

2.4 Modelos de apoio à decisão multicritério

Decidir é o ato de escolher dentro de diversas possibilidades existentes, fazer ou não fazer alguma coisa. Tomamos decisões diariamente em nossas vidas. Estas podem ser simples, nas quais as consequências não trazem grandes prejuízos ou desvios de objetivos se optarmos por uma alternativa ou outra, e, podem ser complexas, cujas consequências de cada decisão podem provocar grandes mudanças no quadro geral da situação no qual a decisão está inserida.

Percebe-se que a tomada de decisão está inserida em todos os níveis, seja na vida pessoal ou profissional, o que muda é o impacto que as consequências podem causar em cada alternativa selecionada nas decisões. Na esfera organizacional, a tomada de decisão é muito importante, pois define os rumos que a organização vai tomar, logo é de extrema necessidade que seja tomada de forma coerente.

Muitas vezes, a decisão tem mais de um objetivo, normalmente conflitantes. O tomador de decisão deve ponderar entre os seus objetivos e avaliar a alternativa que traga as melhores consequências para o seu problema. Segundo Almeida (2013), o problema do decisor é julgar os múltiplos objetivos, de maneira conjunta, sendo tais objetivos representados por variáveis, que muitas vezes possuem unidades de medidas diferentes.

Com a globalização, uma empresa deseja se manter no mercado e ser competitiva, para tanto existe a necessidade de levar em consideração vários aspectos no processo de decisão, o que justifica os vários objetivos que podem envolver a tomada de decisão (CAMPOS et al, 2011).

Métodos multicritérios de apoio à decisão lidam com a processo de tomada de decisão que possuem múltiplos objetivos que, normalmente, são conflitantes e a solução está intimamente relacionada com as preferências do decisor, que é fundamental para decidir entre critérios quantificáveis ou não, e os múltiplos critérios (POHEKAR, 2004).

Em um processo decisório, mesmo que seja uma decisão individual, existem pessoas que podem influenciar e compõem esse cenário, sendo chamados de atores. O principal ator é o decisor, aquele que toma a decisão, que tem suas preferências identificadas para que a melhor decisão seja tomada. Existem ainda o analista, cliente ou preposto e o especialista.

O analista de decisão é o que suporta metodologicamente o decisor, uma vez que ele é responsável por interagir com o mesmo e desenvolver um modelo decisório, no qual devem ser inseridas as preferências do tomador de decisão. Já o cliente ou preposto é uma pessoa que conhece o decisor e o representa no momento da interação com o analista, quando aquele não pode participar diretamente do processo decisório. O especialista é aquele que conhece o problema intimamente e pode fornecer subsídios para a elaboração do modelo de decisão.

Além desses atores, para Roy (1996) ainda existem os stakeholders e a terceira parte. O primeiro se trata de uma pessoa ou grupo de pessoas que podem influenciar diretamente as decisões do tomador de decisão, fazendo pressão para um certo resultado. O segundo se trata de pessoas as quais a decisão afetará, mas não possuem voz para influenciar a decisão.

Com os devidos papéis atribuídos, o processo decisório é iniciado a partir do surgimento de um problema, e para tal deve existir, no mínimo, duas alternativas para a decisão entre uma ou outra para solucionar a questão. Segundo Almeida (2013), no momento em que o decisor tem a intenção de tomar uma posição sobre as alternativas do conjunto de alternativas, isso significa que foi feita uma avaliação segundo uma problemática, que significa a forma de classificação do tipo de problema de decisão a partir da maneira que o decisor quer ter uma posição comparativa sobre o conjunto de alternativas.

Roy (1996) classifica a problemática em quatro tipos, sendo eles:

- Problemática de escolha: apresenta o problema em termos de encontrar a melhor ação a ser tomada. Resulta em uma recomendação que indica uma decisão que

deve ser tomada ou propõem uma metodologia baseada na seleção automatizada que pode ser utilizada para identificar as melhores ações.

- Problemática de classificação: aloca as ações em categorias em termos do eventual destino das ações. Isto é, categorizar as alternativas em grupos baseados no valor intrínseco das ações.
- Problemática de ordenação: cria uma ordem decrescente de preferência ou constrói uma metodologia de ordenação de ações.
- Problemática de descrição: apresenta o problema em termos descritivos das ações e suas consequências de uma forma sistemática e formalizada com o objetivo de ajudar o tomador de decisão a entender e avaliar as ações.

Para Almeida et al (2015) ainda é preciso considerar o quinto tipo de problemática, que é:

- Problemática de portfólio: objetiva escolher um subconjunto de alternativas que possam atender, sob determinadas restrições, o objetivo a ser alcançado.

O que deve ser levado em consideração no momento que se busca tomar uma decisão é a consequência dessa ação, sendo assim, escolhe-se a consequência que a alternativa proporciona. Logo, existem algumas estruturas básicas de preferências que devem ser consideradas.

2.4.1 Estruturas de Preferências

Segundo Vincke (1992) preferências são fundamentais para a vida, seja individual ou em comunidade. Sua definição é importante para a caracterização do método multicritério a ser utilizado. Para Almeida (2013), um modelo de preferências é uma maneira de representar formalmente a comparação de elementos. As preferências são tomadas a partir de uma relação binária que compara os elementos de um conjunto de alternativas $A = \{a, b, c, \dots, n\}$.

Segundo Almeida et al (2015), a relação binária vem de um produto cartesiano $A \times A$, sendo conjunto de pares ordenados (a, b) , e possui sua representação como sendo aRb , caso haja alguma relação e $\text{não}(aRb)$, caso contrário. Algumas propriedades devem ser consideradas quando falamos em relação binária R , sendo elas:

- Reflexiva, se aRa
- Simétrica, se $aRb \Rightarrow bRa$
- Assimétrica, se $aRb \Rightarrow \text{não}(bRa)$
- Transitiva, se aRb e $bRc \Rightarrow aRc$

A relação, R , é chamada de relação de preferências, e, segundo Almeida et al (2015), as relações de preferências mais comuns são apresentadas na Tabela 2.2.

Tabela 2.1 - Relações de Preferências

Relação de Preferência	Característica	Propriedades
Indiferença (I)	Não existência de razões que justificam a comparação entre os elementos.	Reflexiva e Simetria
Preferência Estrita (P)	Razões que levam a clara preferência do decisor em favor de um elemento.	Assimétrica
Preferência Fraca (Q)	Não há razões para P ou I , mas ainda existe certa preferência em favor de um elemento.	Assimétrica
Incomparabilidade (J)	Ausência de razões que justifiquem qualquer uma das relações anteriores.	Simétrica e não Reflexiva

Fonte: Almeida (2013) e Almeida et al (2015)

A partir disso, quando falamos em estruturas de preferências estamos falando de um conjunto de relações de preferências aplicadas a um conjunto de elementos A , no qual cada par de elementos possui pelo menos uma das relações (exaustividade) e se aplicada uma relação, nenhuma outra pode ser (exclusividade). Existem algumas estruturas que se destacam para problemas de modelagem com métodos multicritério (ALMEIDA, 2013), sendo elas:

- Estrutura (P, I): possui uma relação simétrica e outra assimétrica, permitindo a obtenção de uma pré-ordem completa, que segundo Vincke (1992) representa o tipo de situação na qual os elementos de A podem ser ranqueados do melhor para o pior, sendo completa por não levar em consideração a incomparabilidade. Se não houvesse indiferença, seria uma ordem completa.
- Estrutura (P, Q, I): possui duas relações de assimetria e uma de simetria, formando uma pré-ordem completa entre os elementos.

- Estrutura (P, Q, I, J) : possui a relação de incomparabilidade, permitindo a formação de pré-ordens parciais entre os elementos.

2.4.2 Classificação dos modelos de apoio à decisão multicritério

Existem algumas maneiras de classificar os modelos de apoio à decisão multicritério. A mais comum é a que considera três categorias e foi abordada por Roy (1996) e Vincke (1992), sendo elas:

- Métodos de critério único de síntese: são métodos que buscam uma avaliação global de cada alternativa, a partir da ponderação do valor de cada critério avaliado. O valor de cada alternativa é comparado com os das outras para a tomada de decisão.
- Métodos de sobreclassificação, que, segundo Almeida (2013), tratam de uma relação binária, que faz uma comparação par a par entre as alternativas para verificar a relação entre as mesmas. As famílias utilizadas para esse tipo de relação são o ELECTRE e o PROMETHEE.
- Métodos Interativos, que para Vincke (1992) consiste na alternância entre cálculos computacionais com diálogos entre o decisor. É feito primeiramente uma solução computacional e apresentada ao tomador de decisão, após suas considerações, uma nova solução computacional é feita, e repete-se o ciclo até encontrar a que o decisor escolha.

Cabe ao responsável pelo problema multicritério, seja o decisor, seja o analista, identificar qual o melhor modelo de decisão a ser adotado para seja possível encontrar a melhor solução dentro dos critérios considerados e as alternativas apresentadas.

2.4.3 Promethee II

A família de métodos Promethee, segundo Vincke (1992), consiste na elaboração de uma relação de sobreclassificação valorada, envolvendo conceitos e parâmetros que tenham alguma interpretação física ou econômica facilmente compreendida pelo tomador de decisão.

A relação valorada é construída a partir da determinação do grau de sobreclassificação entre duas alternativas, a comparação par a par, que é determinado pela equação 2.1:

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n p_i F_i(a, b) \quad (2.1)$$

Onde:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1$$

$$F_i(a, b) = [g_i(a) - g_i(b)]$$

Sendo g_i a avaliação de uma ação segundo um critério i ($i= 1, 2, 3, \dots, n$).

No Promethee existem formas básicas de determinação para a função $F_i(a,b)$, que estão representadas na Tabela 2.2, na qual q representa um limiar de indiferença, abaixo do qual esta existe; e p representa o limiar de preferência, acima do qual a mesma acontece.

Tabela 2.2 - Critérios gerais para o PROMETHEE

1. Critério usual; não há parâmetro a ser definido.	$g_i(a) - g_i(b) > 0$ $g_i(a) - g_i(b) \leq 0$	$F(a, b) = 1$ $F(a, b) = 0$
2. Quase critério; define-se o parâmetro q .	$g_i(a) - g_i(b) > q$ $g_i(a) - g_i(b) \leq q$	$F(a, b) = 1$ $F(a, b) = 0$
3. Limiar de preferência; define-se o parâmetro p .	$g_i(a) - g_i(b) > p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq 0$	$F(a, b) = 1$ $F(a, b) = \frac{g_j(a) - g_j(b)}{p}$ $F(a, b) = 0$
4. Pseudo critério; definem-se os parâmetros p e q .	$g_i(a) - g_i(b) > p$ $q < g_i(a) - g_i(b) \leq p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq q$	$F(a, b) = 1$ $F(a, b) = 1/2$ $F(a, b) = 0$
5. Área de indiferença; definem-se os parâmetros p e q .	$g_i(a) - g_i(b) > p$ $q < g_i(a) - g_i(b) \leq p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq q$	$F(a, b) = 1$ $F(a, b) = (g_i(a) - g_i(b) - q)/(p - q)$ $F(a, b) = 0$
6. Critério gaussiano; o desvio-padrão deve ser fixado.	$g_i(a) - g_i(b) > 0$ $g_i(a) - g_i(b) \leq 0$	A preferência aumenta segundo uma distribuição normal. $F(a, b) = 0$

Fonte: Almeida (2013)

Após a elaboração da relação valorada, deve-se fazer a exploração da relação de sobreclassificação para apoiar a tomada de decisão. Para tanto é utilizado dois indicadores, o fluxo de sobreclassificação de saída e o de entrada. O primeiro representa a intensidade de preferência de “a” sobre alternativas “b”, quanto maior melhor. O segundo, o contrário, quanto menor, melhor a alternativa. São obtidos através das fórmulas 2.2 e 2.3:

$$\phi^+(a) = \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (2.2)$$

E

$$\phi^-(a) = \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad (2.3)$$

Brans & Mareschal (2001) propuseram outra forma de calcular os fluxos, equação 2.4 e 2.5, de forma a deixar seus valores normalizados e independentes do número de alternativas do conjunto A, com índice na escala (0,1).

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (2.4)$$

E

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad (2.5)$$

Outro indicador utilizado é o do fluxo líquido, que é calculado com a equação 2.6:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (2.6)$$

O Promethee II faz uso do fluxo líquido para criar uma pré-ordem completa entre as alternativas a partir das relações de preferência e indiferença (ALMEIDA, 2013) e daí, ordenar as alternativas para apoiar a decisão.

2.4.4 Procedimento para definição de um modelo multicritério

A partir do modelo integrado de política de manutenção e gestão de estoque apresentado na seção anterior a proposta desse trabalho toma forma: o desenvolvimento do modelo multicritério para suportar a sua utilização. O modelo multicritério busca determinar os melhores valores das variáveis de decisão que determinam a opção que melhor atende o tomador de decisão, diferentemente do modelo integrado, que busca o ponto ótimo da questão, uma vez que este possa não ser o que o decisor busca.

Almeida et al (2015) descreve um procedimento para a criação de um modelo multicritério, que parte do mais simples, como a definição dos critérios, até a definição do tipo de problemática e método a ser utilizado. A metodologia proposta pelo autor se dá em doze passos, apresentado na Figura 3.2, e, como é possível verificar na imagem existem dois tipos de setas, as cheias representam o fluxo normal do processo, já as tracejadas representam a possibilidade de retorno a uma etapa anterior como forma de refinamento e melhoria.

Os doze passos podem ser subdivididos em três fases. A primeira, chamada de preliminar, é a fase na qual as decisões elementares são tomadas, sendo decisivas para todo o processo, sendo possível eliminar alguns modelos. A segunda fase, modelagem de preferências e escolha do método, é onde a definição do método multicritério é realizada, sendo a mais flexível de todas, devendo seus três passos ser executados de maneira simultânea para dar um melhor entendimento da situação. Por fim, a terceira fase, finalização, é quando o modelo é efetivamente aplicado, com a busca de um resultado. Assim, é possível realizar uma análise de sensibilidade e, talvez, retroceder os passos para mudanças e melhorias. As etapas do processo pode ser divididas e definidas como:

Passo 1: Caracterização do decisor (DM) e demais atores - nesse momento, determina-se o papel de cada ator para cada etapa deste procedimento.

Passo 2: Identificação dos objetivos – considerado um passo crucial, influencia em todas as etapas do processo e depende da natureza do problema para estabelecer-se os objetivos.

Passo 3: Estabelecer critérios – a representação do objetivo no modelo multicritério se dá através de um critério, então, para cada objetivo existe um critério ou atributo. Para Keeney (1992), critério é a variável que vai mensurar o desempenho do objetivo. Os critérios podem ser classificados como natural, construído ou proxy. Além disso, pode ser determinístico ou probabilístico.

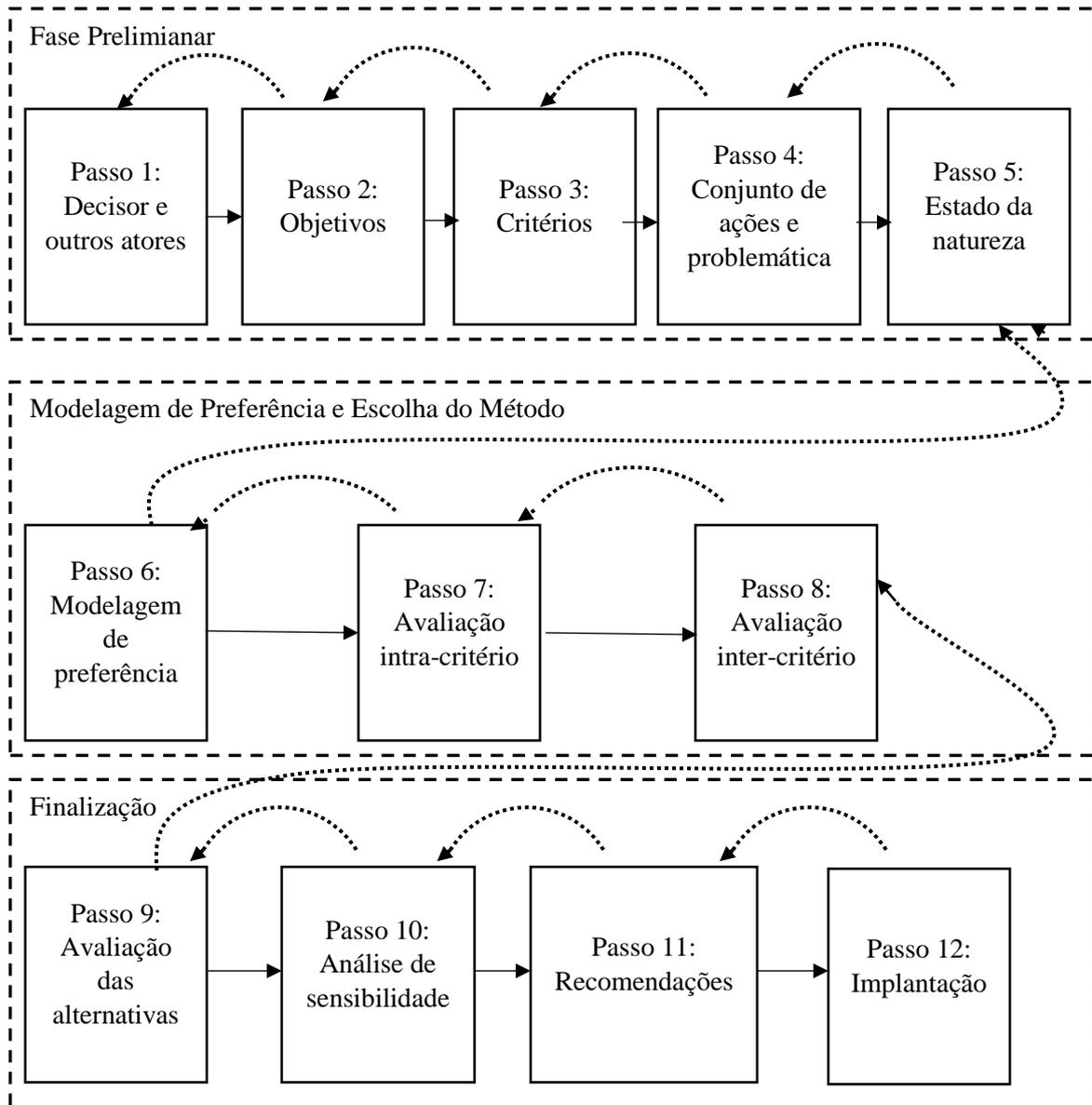


Figura 2.3 - Procedimento para resolução de problemas e construção do modelo multicritério

Fonte: Almeida et al (2015, p. 29)

Passo 4: Estabelecer o conjunto de ações e a problemática – nesse passo existem quatro tópicos a serem abordados, o estabelecimento da estrutura do conjunto de alternativas, que tem ligação direta com o método MCDM/A escolhido; estabelecimento da problemática a ser aplicada a esse conjunto de alternativas, que pode interferir no tipo do método; geração das alternativas, sendo essa a etapa mais criativa do processo; e, apresentação da matriz de consequências, que representa a associação das alternativas com o resultado correspondente para cada critério.

Passo 5: Identificar o estado da natureza – se trata da identificação de fatores do sistema que não controlados pelo decisor e podem sofrer alterações aleatoriamente, influenciando os

resultados do processo de decisão. Considerado um ingrediente do processo, esses fatores devem ser apresentados na matriz de consequências com suas possíveis variações.

Passo 6: Modelagem de preferências – nesta etapa o método MDCM/A que deve ser utilizado é definido, bem como a construção do modelo. A estrutura de preferências deve ser verificada junto ao decisor, se o mesmo considera a incomparabilidade e se é capaz de construir uma ordem ou pré-ordem, com isso verificar que tipo de racionalidade é mais adequada, a compensatória ou a não-compensatória, assim a escolha parcial do método multicritério é feita.

Passo 7: Condução de uma avaliação intra-critério – esta etapa consiste na elicitación da função valor $v_j(x)$, relacionada ao valor das diferentes performances dos resultados no critério j , e vai depender da seleção preliminar o método multicritério. Vale ressaltar que se um método não-compensatório foi escolhido uma avaliação sequencial deve ser suficiente, sendo necessário a normalização da escala. Já para métodos compensatórios, a elicitación de preferências é necessária para a criação da função valor.

Passo 8: Condução da avaliação inter-critério – aqui, a escolha do método deve ser efetivamente feita, e o processo de determinação de pesos do critério realizado, e este depende do tipo de método selecionado.

Passo 9: Avaliação das alternativas – nessa etapa, se inicia a finalização, sendo as alternativas avaliadas, baseadas na problemática proposta. A aplicação do modelo acontece, o que é basicamente, a aplicação do algoritmo construído para avaliar as alternativas observadas.

Passo 10: Análise de sensibilidade – realização da análise de robustez do modelo criado, a partir das alterações dos parâmetros do modelo e dados de entrada. Esta etapa apresenta resultados que podem chegar a necessidade de reavaliação e alterações no modelo criado, pois verifica o quanto os resultados encontrados na etapa anterior são sensíveis a variações.

Passo 11: Desenho de recomendações – após a análise de sensibilidade, se nada precisa ser modificado ou após as modificações, o modelo é satisfatório, um relatório é apresentado ao decisor contendo as recomendações encontradas com a aplicação do modelo multicritério.

Passo 12: Implementação das ações – depois do decisor receber e aceitar as recomendações encontradas a partir do modelo, o processo de implementação pode ser iniciado.

3 *ESTRUTURAÇÃO DO MODELO MULTICRITÉRIO A PARTIR DO MODELO INTEGRADO DE MANUTENÇÃO COM GESTÃO DE ESTOQUE*

3.1 **Modelo integrado de manutenção e gestão de estoques de sobressalentes**

A definição de novos critérios para a integração de políticas de manutenção e gestão de estoques de sobressalentes provoca algumas modificações na utilização do modelo integrado. Para o desenvolvimento deste trabalho, o modelo escolhido foi o modelo desenvolvido por Rodriguez (2016) baseado na política de manutenção preventiva chamada de *Piggyback* criado por Liang (1985) e o modelo tradicional de revisão contínua de estoque.

Segundo Rodriguez (2016) a integração das duas políticas busca conectar diversos fluxos entre si e proporcionar economias nos processos envolvidos, além de garantir o pleno funcionamento da unidade produtiva. Uma explanação acerca do modelo de Liang (1985) é formalizada abaixo, bem como a maneira que foi realizada o processo de integração com o modelo de revisão contínua do estoque.

3.1.1 Política de manutenção preventiva *Piggyback*

A política desenvolvida por Liang (1985) está pautada na manutenção oportunista, que para este autor, significa uma oportunidade para manutenção preventiva em uma componente com uma taxa de falha crescente. Em suma, se um sistema falhar, e motivo não for o componente oportunista, existe a oportunidade de restaurar esse componente se sua idade estiver dentro do intervalo de manutenção preventiva.

O modelo 1 apresentado por Liang (1985) é representado por dois equipamentos A e B que trabalham em série, que no caso são equipamentos de fazer cópias, no qual a falha do equipamento A (*Piggybackee*) necessita atingir o intervalo de manutenção preventiva estabelecido para o equipamento B (*Piggybacker*) para oferecer a oportunidade de manutenção neste. O primeiro segue uma distribuição de probabilidade exponencial, sendo assim, possui uma taxa de falhas constante, e as mesmas são aleatórias e, não há manutenção preventiva para tal. Já o segundo está sujeito a desgaste, e possui uma taxa de falha crescente, submetido assim a uma distribuição Weibull. Rodriguez (2016) utilizou tal política por ser simples, compreender inúmeros casos na indústria e sua aplicação ser economicamente viável.

A principal diferença existente entre o modelo original e o utilizado por Rodriguez (2016) é a maneira como os custos de serviços e manutenção não programadas são tratadas na política. O primeiro trata de forma isolada, já o segundo trabalha com uma perspectiva global baseada nas duas características.

Segundo Liang (1985) existem três casos nos quais podem ocorrer, a depender da ocorrência de falhas dos equipamentos do sistema, sendo a renovação do sistema sendo feita sempre que o equipamento B é substituído preventivamente. Os casos podem ser representados pelas figuras abaixo.

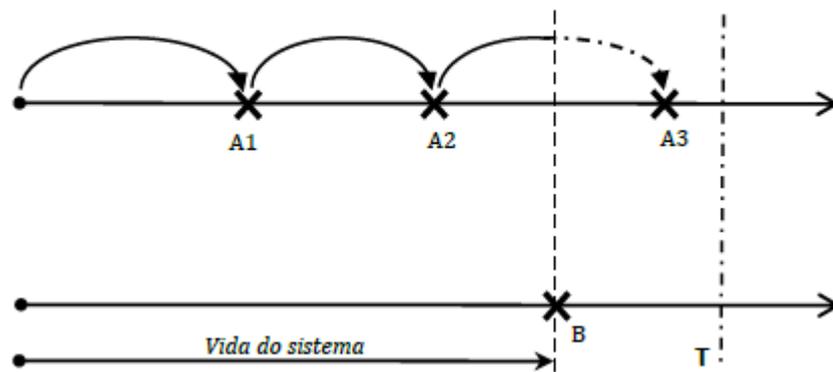


Figura 3.1 - Caso 1 Piggyback

Fonte: Rodriguez (2016)

O caso 1, representado pela Figura 3.1, a falha do equipamento B acontece antes do intervalo de manutenção preventiva, culminando em uma substituição corretiva. Além disso, o equipamento A sofre falhas que sofrem duas manutenções corretivas.

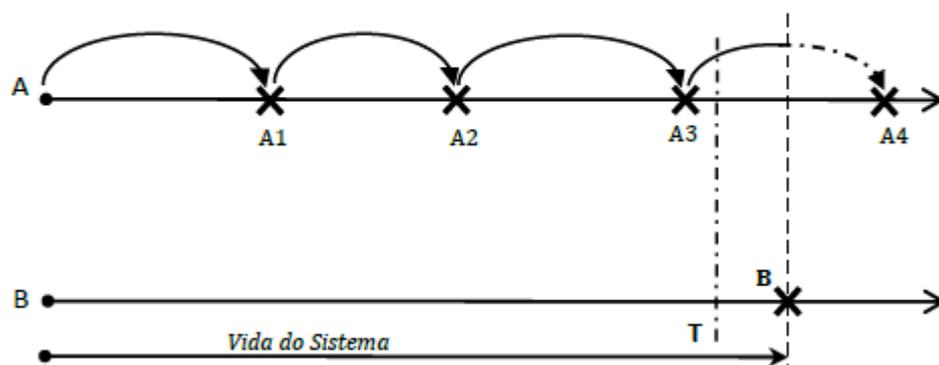


Figura 3.2 - Caso 2 Piggyback

Fonte: Rodriguez (2016)

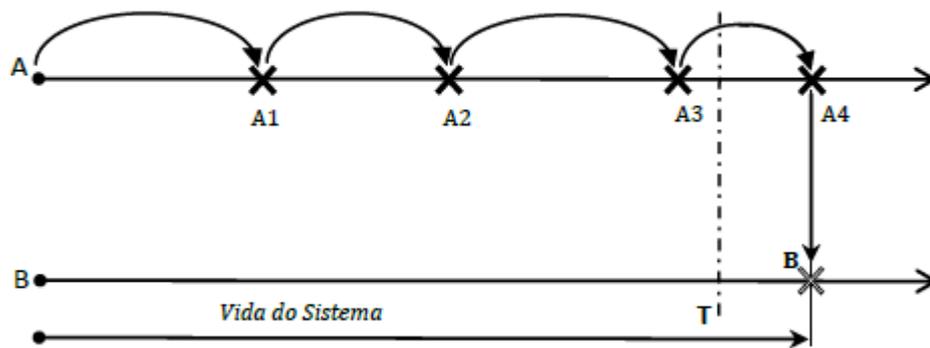


Figura 3.3 - Caso 3 Piggyback

Fonte: Rodriguez (2016)

No caso 2, visto na Figura 3.2, uma falha do equipamento B ocorre após o intervalo T, mas antes de uma falha do equipamento A, ou seja, ocorre uma substituição corretiva, gerando uma manutenção não programada, além das que ocorreram em A anteriormente.

Já no caso 3, como pode ser visto na Figura 3.3, o equipamento A falha após o intervalo de preventiva do equipamento B, e oferece a oportunidade de manutenção neste, já que não houve nenhuma falha antes. Sendo esse o cenário ideal da política *Piggyback*.

Segundo Liang (1985) a política *Piggyback* economiza tempo administrativo, tempo de deslocamento até o equipamento e tempo físico do equipamento, e tempo de diagnóstico, uma vez que a manutenção preventiva do equipamento B está incluído em uma manutenção não programada do equipamento A, sendo, praticamente, invisível.

No trabalho desenvolvido por Rodriguez (2016), por se tratar de uma modelagem e simulação, a métrica das manutenções não programadas é feita de forma diferente da feita por Liang (1985), que utiliza probabilidades. Rodriguez (2016) utiliza uma taxa que envolve a quantidade de manutenções não programadas em cada um dos equipamentos pela vida do sistema e é dado apresentada na equação 3.1.

$$UM = \frac{N_A + N_B}{L} \quad (3.1)$$

Na qual:

N_A é o número de falhas de A

N_B é o número de falhas de B

L é a duração esperada do ciclo de vida do sistema

Já para calcular os custos, baseado na política de Liang (1985), Rodriguez (2016) calculou os custos totais que envolvem as manutenções corretivas e preventivas com as seguintes equações 3.2 e 3.3.

$$C_{MC} = (tot + td + trpl) * blr + c_{Equip} \quad (3.2)$$

$$C_{MP} = (trpl) * blr + c_{Equip} \quad (3.3)$$

Em que

C_{Equip} é o custo do equipamento (\$)

Tot é o tempo total (administrativo + deslocamento + tempo físico da máquina (h)

Td é tempo de diagnóstico (h)

$Trpl$ é o tempo de substituição (h)

Blr é a taxa de trabalho sobrecarregado (\$/h)

Sendo assim, a taxa de serviço (CS), que representa o custo médio de longo prazo por unidade de tempo, pode ser calculado, Segundo Rodriguez (2016) como na equação 3.4:

$$CS = \frac{C_{MP} + C_{MC}}{L} \quad (3.4)$$

Na qual

C_{MP} é o custo total por manutenções preventivas no equipamento B

C_{MC} é o custo total por manutenções corretivas no equipamento A

L é a duração esperado do ciclo de vida do sistema

A partir do exposto, Rodriguez (2016) utilizou um processo de modelagem e simulação para integrar a política de Piggyback proposta por Liang (1985), com as devidas adaptações, a uma política de gestão de estoque de revisão contínua.

3.1.2 Gestão de estoque de sobressalentes

O interesse da manutenção no estoque de uma organização está nas peças sobressalentes armazenadas, logo o foco é a gestão de tais peças. Para garantir o funcionamento contínuo ao menor custo possível é preciso responder a duas questões primordiais, “quanto” e “quando” pedir as peças.

O sistema de controle de estoque utilizado por Rodriguez (2016) para integrar à política de Liang (1985) é o de revisão contínua. Pode-se entender como sistema de controle de estoque, o conjunto de ações que permite responder as questões básicas e tomar decisões sobre o estoque (RODRIGUEZ, 2016).

O sistema de revisão contínua tem seus limites definidos a partir das variáveis s e S , que representam, respectivamente, o estoque mínimo, no qual um pedido regular deve ser feito, a fim de evitar a falta de estoque, e o estoque máximo, que representa a quantidade máxima que deve ser armazenada no estoque de peças sobressalentes, e seu valor depende de variáveis como condições físicas, econômicas e de gestão. Sendo a quantidade de peças disponíveis em estoque representadas por “Q”.

Para a política de gestão de estoque de revisão contínua utilizada por Rodriguez (2016), dois tipos de pedidos de peças são considerados. O pedido regular, que é feito quando o estoque é mínimo e quantidade a ser encomendada é dada pela diferença entre o estoque máximo e mínimo. O tempo de entrega do pedido depende das taxas de falhas e da taxa de chegada do pedido.

O outro tipo de pedido é o de emergência que é realizado quando o estoque se encontra zerado e quantidade é pré-estabelecida. O tempo de entrega é menor que o do pedido regular.

Os custos associados a revisão contínua de estoque são:

- Custos de pedido: nesse caso representado pelos custos dos pedidos regulares (C_{pr}) e pelos custos dos pedidos de emergência (C_{pe}), calculados de acordo com as equações 3.5 e 3.6, respectivamente.

$$C_{PR} = C_{pr} * N_r \quad (3.5)$$

$$C_{PE} = C_{pe} * N_e \quad (3.6)$$

Sendo N_r o número de pedidos regulares e N_e o número de pedidos de emergência.

- Custos de manter o estoque (C_m): medido em unidades monetárias por unidade da peça por unidade de tempo que o item seja mantido em estoque, dado pela equação 3.7.

$$C_M = Q * C_m * t_{estoque} \quad (3.7)$$

- Custos de falta de estoque (C_f): o custo da falta de estoque durante o tempo de duração de uma parada (t_p) é calculado através da equação 3.8, sendo medido em unidades monetárias por cada mil cópias.

$$C_F = C_f * t_p \quad (3.8)$$

Portanto, os custos que compõem o equipamento B estão representados na equação 3.9. Já o equipamento A, segundo Rodriguez (2016), tem a hipótese de que os custos são fornecidos imediatamente após uma falha, sendo chamado como custo de falha de equipamento, representada pela equação 3.10.

$$C_G B = C_{PE} + C_{PR} + C_M + C_p \quad (3.9)$$

$$C_G A = 50 [\text{\$ por falha do equipamento A}] \quad (3.10)$$

A partir das equações de custos para manutenção corretiva e preventiva de Liang (1985), Rodriguez (2016) obteve as equações 3.11 e 3.12 para as atividades de manutenção.

$$C_{MC} = (tot + td + trpl) * blr \quad (3.11)$$

$$C_{MP} = trpl * blr \quad (3.12)$$

Portanto, o custo total integrado ao modelo de manutenção Piggyback e gestão de estoque obtida por Rodriguez (2016) é dado pela equação 3.13.

$$C_{total} = \sum_{i=1}^N (C_G B + C_G A + C_{MC} A + C_{MC} B + C_{MP}) \quad (3.13)$$

3.1.3 Política de manutenção integrada com a gestão de sobressalentes

O principal objetivo de Rodriguez (2016) ao integrar as políticas supracitadas é estudar o comportamento do modelo integrado quanto à taxa de custos de serviços, à taxa de pedidos e ao número de paradas do sistema, buscando descobrir os valores ótimos de estoque e o intervalo de manutenção que proporcionem os melhores valores para as características estudadas. O autor agrupou os custos dos equipamentos A e B em um só para simplificar.

Rodriguez (2016) enfatiza seu estudo no comportamento do equipamento B, que está sujeito a degradação, sendo modelado a partir de uma taxa de falha crescente pela distribuição Weibull. Tal situação permite a análise da gestão de estoque de peças sobressalentes sob o sistema de revisão contínua de estoque.

Já para o equipamento A, que está submetido a uma falha exponencial, com taxa de falha constante e maior que a do equipamento B. A fim de facilitar o estudo, considera-se que o intervalo de entre falhas é definido pelo fabricante e os custos de fabricação e de gestão foram unidos em um único custo.

Para Rodriguez (2016) a integração das políticas é baseada nas intervenções feitas no equipamento seja preventiva ou corretivamente, oferecendo a oportunidade de revisar o estoque após um item ser retirado para deixar o sistema produtivo em pleno funcionamento. A revisão contínua é uma ferramenta flexível pois se adapta a política de manutenção estabelecida para o sistema.

O modelo proposto por Rodriguez (2016) foi elaborado por meio de modelagem e simulação estocástica para estudar os efeitos produzidos pela variabilidade da demanda por

peças sobressalentes, e, por consequência, sobre a política de custo total por unidade produzida, ou taxa de custos, taxa de paradas e taxa de pedidos de emergência e regulares.

Portanto, o objetivo da integração é encontrar níveis ótimos de estoque (S, s) e o intervalo de tempo (T) pela perspectiva do custo de serviço e da disponibilidade do sistema, que proporcione maior benefícios para o conjunto.

Para quantificar os lucros, Rodriguez (2016) utilizou a vida do sistema e os custos para as atividades de manutenção, que dependem diretamente do intervalo de manutenção preventiva (T); e, o custo de gestão de sobressalentes e o número de manutenção não programada/corretiva, que utilizam a quantidade de paradas não programadas por falta de peças, número de pedidos regulares e de emergência como critério de decisão, que dependem diretamente das variáveis (S, s, T).

A simulação feita inicia-se com a criação de tempos aleatórios de falhas e segue com a determinação do intervalo de manutenção (T) e dos níveis máximo e mínimo de estoque (S, s). Com isso, avaliou-se o caso de manutenção *Piggyback* que poderia acontecer e as consequências envolvidas na gestão de estoque até que apareça a oportunidade de renovar o sistema.

A seguir, calculou-se os custos relacionados às ocorrências de falhas e estoques para posteriormente serem agregadas como custo de serviço integrados; o número de pedidos regulares e de emergência; e, o número de paradas não programadas por falta de estoque. Os dados utilizados nesse processo são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Parâmetros envolvidos nos modelos - Simulação

		Equipamentos		
		A	B	
Manutenção	f(t)	Exponencial	Weibull	
	β	1	3	
	η	-	67,60	Mil cópias
	θ	30	60	Mil cópias
	C_F	96,25	99	\$
	C_P	-	11	\$
		Equipamento B		
Estoque	C_{pr}		60	\$ por pedido
	C_{pe}		120	\$ por pedido
	C_m		0,05	\$ por unidade a cada mil cópias
	C_f		1200	\$ a cada mil cópias
	T_{pr}		54	Mil cópias
	T_{pe}		18	Mil cópias

Fonte: Rodriguez (2016, p. 75)

Logo após, Rodriguez (2016) criou um algoritmo de otimização das variáveis de decisão, para descobrir o ponto ótimo associado ao custo de serviço para cada uma das alternativas, assim como o espaço de busca no qual se pré-estabeleceu limites das variáveis de decisão para avaliar as diferentes opções e, desta forma, apresentar a melhor configuração para o critério. Vale salientar que os dados de entrada das variáveis de decisão para otimizar os custos de serviço são os apresentados na Tabela 3.2

Tabela 3.2 - Dados de entrada das variáveis de decisão (s , s , T) - Algoritmo de otimização

S	15	Unidades
s	0	Unidades
T	0 – 90	Mil cópias
N	100.000	Mil cópias

Fonte: Rodriguez (2016, p. 75)

Com o processo de modelagem e simulação foram encontrados os valores ótimos, que levam ao menor custo de serviço (13, 3, 17). Além disso, Rodriguez (2016) fez uma comparação com a utilização das políticas de maneira sequencial e a integrada, comprovando a eficácia do modelo proposto por apresentar melhores valores.

3.2 Definição de um modelo multicritério

A partir do desenvolvimento do modelo integrado de política de manutenção *piggyback* e revisão contínua de estoque desenvolvido por Rodriguez (2017), o presente trabalho desenvolveu um modelo multicritério para agregar critérios antes não considerados no momento da determinação dos valores das variáveis de estudo (T, s, S).

3.2.1 Modelo Multicritério para suportar a integração

A partir da metodologia apresentada para determinação de um modelo multicritério, elaborou-se o modelo multicritério a ser utilizado para suportar a integração de uma política de manutenção e gestão de estoques. Ao seguir o passo a passo, foi definido inicialmente os atores do processo decisório, que na situação aqui apresentada, o autor deste trabalho é o decisor e o analista, pois desenvolve e toma as decisões acerca do modelo.

O objetivo do decisor ao desenvolver um modelo multicritério para suportar a integração de duas políticas, até então, antagônicas, é otimizar o processo de manutenção por meio de uma política de estoque eficiente e compatível com as necessidades baseado em vários critérios. Sendo assim, o modelo multicritério tem por objetivo encontrar os valores determinantes da integração que venham a atender todas as necessidades do decisor.

O modelo integrado apresentado neste trabalho busca encontrar um ponto ótimo, ou seja, um valor que minimize ou maximize determinado atributo. Porém, muitas vezes, o ponto ótimo de um atributo nem sempre é o ideal para o sistema como um todo, podendo afetar negativamente outras características associadas, surgindo assim a necessidade de uma modelagem multicritério, que busca abordar os possíveis critérios que possam afetar alguma decisão.

A modelagem multicritério, no cenário apresentado, de integração de políticas distintas de manutenção e estoque, se torna coerente, visto que são áreas complementares que, a priori, não interagem no processo de construção do planejamento de suas atividades. O modelo integrado utilizado faz uso de apenas um critério para justificar seu uso, mas a decisão de utilizar ou não uma política, seja ela integrada ou não, deve levar em consideração todos os fatores que

venham a interferir no seu desempenho, fatores esses que devem ser identificados pelo responsável pela decisão de usar a política, aliado aos objetivos empresariais. Sendo assim, é necessário descobrir o que pode intervir e é de relevância para o decisor durante o processo para assim atender a todos os objetivos do mesmo. Ou seja, a modelagem multicritério para suportar a utilização de uma política integrada de gestão da manutenção e estoque surge como um aprofundamento de uma temática pouco explorada e que, possivelmente, necessita de multiobjetivos para atender as necessidades do tomador de decisão.

O objetivo do decisor ao utilizar o modelo integrado das políticas apresentados acima pode ser traduzido como o aumento da eficácia e eficiência da atividade de manutenção por meio da integração com uma política apropriada de estoque, de maneira que seja possível obter ganhos econômicos e atendimento da demanda, reduzir o tempo em que o sistema está sem peças sobressalentes em estoque, além de reduzir a quantidade manutenções corretivas no equipamento B e aumentar as preventivas no mesmo equipamento. Por fim, o decisor busca aumentar a vida média do sistema para garantir maior tempo de funcionamento do seu sistema.

Partindo dessa lógica, para os objetivos é possível associar cinco critérios, ou seja, cinco atributos que possam representá-los, vistos da Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Critérios de escolha para o modelo multicritério

Critério 1	Custos totais
Critério 2	Perda por indisponibilidade
Critério 3	Vulnerabilidade
Critério 4	Taxa de manutenções não programadas no equipamento B
Critério 5	Taxa de manutenções preventivas no equipamento B
Critério 6	Vida média do sistema

Fonte: Esta pesquisa (2017)

3.2.1.1 Custos Totais

Quando falamos em ganhos econômicos tratamos, basicamente, do aumento da receita por meio da redução dos custos, sendo esse o critério que representa tal objetivo do decisor. Para que haja diminuição dos custos totais relacionados as atividades de manutenção é necessário que a sua realização seja feita de maneira planejada e com frequências que atendam

a demanda do equipamento. Além disso, os custos estão relacionados com a aquisição e manutenção de peças sobressalentes em estoque, daí a necessidade de controle e planejamento conjunto entre as áreas para que não sejam feitos pedidos desnecessários.

3.2.1.2 Perda por indisponibilidade

O atendimento da demanda está pautado no atendimento da necessidade do cliente no tempo certo, e um fator que interfere nesse atendimento é a escassez de estoque de peças sobressalentes que impede que a manutenção seja realizada, ou seja, o critério é avaliado pela produção que foi deixada de produzir pelo sistema durante o tempo que permaneceu parado por falta de peças sobressalente para realização das atividades de manutenção. Em suma, existe a necessidade de manutenção, porém não há peças sobressalentes disponíveis, logo existe produção em atraso, uma perda de produção por indisponibilidade. O cliente não será atendido no tempo, pois sem a devida manutenção, a linha de produção está impedida de funcionar total ou parcialmente. A perda com a escassez de peças sobressalentes, apesar de mensurada a partir do que foi deixada de produzir, vai além por não ser possível prever a reação do cliente diante da empresa, sendo assim, é muito complicado prever a real perda de um atraso de entrega.

3.2.1.3 Vulnerabilidade

A busca da redução do tempo em que o sistema produtivo está descoberto de peças sobressalentes, ou seja, o tempo em que não existe peça em estoque caso seja necessário a sua utilização, se justifica na necessidade de não permitir que uma atividade de manutenção seja postergada devido à falta de estoque, uma vez que, caso isso ocorra, muitos riscos estão atrelados, como o não atendimento da demanda, perda de clientes por atrasos e custos mais elevados. Logo, a vulnerabilidade é representada pela taxa média de produção nos momentos em que o sistema está em funcionamento, mas não tem estoque. No momento em que a última peça sobressalente entra em uso no sistema produtivo, o estoque fica zerado, e a quantidade produzida até o momento que acontece uma falha ou ocorre a chegada de um pedido de peças, seja de emergência ou regular, representa a vulnerabilidade do sistema.

3.2.1.4 Taxa de manutenções não programadas no equipamento B

A redução da quantidade de manutenções corretivas no equipamento B garantem que o mesmo seja capaz de atingir toda sua vida útil, ou seja, garantem a disponibilidade do sistema. Além disso, o planejamento de estoque de peças sobressalentes é cumprido de maneira eficiente, evitando pedidos de emergência e manutenção de peças em estoque por muito tempo.

3.2.1.5 Taxa de manutenções preventivas no equipamento B

As manutenções preventivas garantem que paradas maiores por quebra (necessitando de uma manutenção corretiva) sejam reduzidas, também garantindo a vida útil do sistema. Sendo essa também, uma maneira de garantir a disponibilidade do sistema. Além disso, como as preventivas são programadas, a gestão de estoque de peças sobressalentes é controlada, evitando custos excessivos, daí a necessidade de melhor gerenciamento das manutenções preventivas.

3.2.1.6 Vida média do sistema

A vida média do sistema diz respeito ao tempo que este funciona sem a ocorrência de manutenções corretivas até o atingimento do intervalo de manutenção preventiva. Sendo assim o objetivo é aumentar, maximizar a vida média do sistema para melhorar o desempenho do mesmo e, conseqüentemente, o desempenho das atividades de manutenção e a gestão de estoque de peças sobressalentes.

O problema multicritério, no caso, consiste em encontrar valores que melhor satisfaça as necessidades do decisor. Logo, por acreditar que uma ordem das possíveis alternativas deve ser feita, frente as opções apresentadas, a problemática de ordenação é a presente no modelo multicritério em questão. Além disso, acreditando não existir uma relação compensatória entre os critérios, ou seja, o desempenho de um critério não interfere nem compensa o de outro, visto que apesar de relacionados, os impactos causados na decisão não são de compensação, o modelo desenvolvido é não-compensatório. Os métodos dessa classificação são representados pelos de sobreclassificação.

Os valores associados a cada critério são apresentados em unidades de medidas, conforme mostrado na Tabela 3.4. No caso dos custos, é medido por unidade monetária por mil cópias, sendo quanto menos, melhor. O critério de perda por indisponibilidade é medido pela quantidade de produção deixada de ser feita pois o estoque não possui peças para o atendimento da manutenção, sendo dada em mil cópias. A vulnerabilidade é obtida pelo número de cópias produzidas enquanto o estoque está zerado, ou seja, a produção com o sistema vulnerável, em risco de sofrer uma falha e não poder ser reparado, sendo apresentada em mil cópias. A quantidade de manutenções corretivas e preventivas do equipamento B é dado em valores de manutenções não programadas por milhão de cópias e manutenção preventivas por milhão de cópias, respectivamente. A vida média do sistema é dada em valores de mil cópias.

Tabela 3.4 - Unidades de medida dos critérios

Critério	Unidade de medida
Custos	\$/mil cópias
Perda por indisponibilidade	k cópias
Vulnerabilidade	k cópias
Taxa de manutenções não programadas do equipamento B	k ² cópias
Taxa de manutenções preventivas do equipamento B	k ² cópias
Vida média do sistema	k cópias

Fonte: Esta pesquisa (2017)

Existem alguns fatores que podem influenciar diretamente no tempo de sistema parado por falta de estoque de peças sobressalentes, e por consequência, nos custos, que são alheios à vontade e controle do decisor. Como, por exemplo, o atraso da entrega do fornecedor, provocando a escassez, mesmo com o planejamento da empresa não contando com isso.

Por se tratar de uma relação não-compensatória, a avaliação inter-critério se dá de forma ordinal, ou seja, ordenação de valores quanto a importância. Já a avaliação inter-critério se dá pela determinação de pesos para cada critério, visto na Tabela 3.5. O somatório dos valores dados aos pesos deve ser 1, e, de acordo com o decisor,

Tabela 3.5 - Peso dos critérios

Critério	Peso
Custos	0,3
Perda por indisponibilidade	0,2
Vulnerabilidade	0,25
Taxa de manutenções não programadas no equipamento B	0,05
Taxa de manutenções preventivas no equipamento B	0,1
Vida média do sistema	0,1

Fonte: Esta pesquisa (2017)

Por se tratar de uma relação não-compensatória, o método, inicialmente, escolhido para o desenvolvimento do modelo foi o Promethee II, que é utilizado para problemáticas de

ordenação, caso apresentado aqui, e também estabelece uma ordem completa, não assumindo a relação de incomparabilidade. Segundo Almeida (2013), esse método apresenta uma forma de agregação que pode ocasionar a perda de alguma informação, mas por outro lado apresenta um formato que proporciona ao decisor uma situação mais confortável, facilitando a tomada de decisão.

O método multicritério requer que sejam elaboradas alternativas, e para tanto foram gerados valores a partir de uma modelagem e simulação em um software auxiliar, a partir do modelo integrado de Piggyback e gestão de estoque por revisão contínua de Rodriguez (2016). Diante dos objetivos almejados foi feita a suposição de que o nível máximo de estoque seria estabelecido como forma de facilitar os cálculos e por assumir que o espaço físico destinado a peças sobressalentes em uma organização não seja grande, o valor do nível máximo de estoque, S , foi definido como $s+2$.

Sendo assim, a partir do desenvolvimento do modelo integrado apresentado foi possível simular os valores para as alternativas e criar o ambiente necessário para a utilização do método multicritério, o Promethee II, nesse caso.

A simulação utilizou o modelo integrado para calcular os valores dos critérios buscados, a partir de lógicas que varriam os possíveis cenários encontrados no modelo integrado. Logo o critério custos foi obtido como a soma dos custos de cada etapa do ciclo de manutenção e revisão de estoque. Já a perda por indisponibilidade somou todos os tempos em cada ciclo que ocorreu do sistema quebrar e não ter peça sobressalente para a atividade de manutenção ser efetivada. A vulnerabilidade se trata de todos os tempos em que o sistema funcionou, mas não possuía peça em estoque caso fosse necessário, logo, o algoritmo verificou em cada ciclo quando isso ocorreu e durante quanto tempo. As taxas de manutenções preventivas e não programadas foram obtidas por meio da contagem de vezes que ocorriam em todos os casos do Piggyback e relacionada com a vida do sistema. E, por fim, a vida útil se trata do tempo decorrido de produção em cada etapa de cada ciclo.

Foram gerados valores para os critérios individualmente, como pode ser visto nas Tabelas 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 e 3.11. No processo de modelagem e simulação, utilizou-se a variável M para determinar quantidade de ciclos que o sistema funciona, com valor de 947. Logo, os valores apresentados nas tabelas de cada critério são os que convergiram com a repetição dos ciclos, que se deu em 100 vezes M .

O intervalo de manutenção foi apresentado em valores com variações de 30 mil cópias, por ser um valor razoável frente ao problema analisado, e o estoque mínimo variando de 1 a 5

unidades. Vale ressaltar que quando T for igual a zero, o equipamento B vai ser submetido a uma manutenção preventiva sempre que ocorrer uma manutenção corretiva no equipamento A, não havendo, assim, o estabelecimento de um limite mínimo operacional para a intervenção no equipamento B.

Tabela 3.6 – Taxa de manutenções não programadas de B (k^2 cópias)

T \ s	1	2	3	4	5
0	7.02	7.05	7.03	7.01	7.01
30	9.68	9.72	9.69	9.65	9.68
60	14.10	14.05	14.07	14.06	14.08
90	16.30	16.33	16.28	16.36	16.36

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Tabela 3.7 - Taxa de manutenções preventivas de B (k^2 cópias)

T \ s	1	2	3	4	5
0	33.13	33.31	33.34	33.75	33.40
30	12.04	12.11	12.10	12.08	12.09
60	3.44	3.45	3.46	3.45	3.43
90	0.39	0.39	0.39	0.39	0.41

Fonte: Esta pesquisa (2017)

Tabela 3.8 - Custo médio de serviço ($\$/k$ cópias)

T \ s	1	2	3	4	5
0	213.22	227.09	225.86	229.54	230.53
30	5.83	5.69	7.56	7.57	7.47
60	5.10	5.07	6.58	6.42	6.53
90	5.02	4.96	6.40	6.36	6.38

Fonte: Esta pesquisa (2017)

Tabela 3.9 – Perda por indisponibilidade (k cópias)

T \ s	1	2	3	4	5
0	9743.96	9785.46	9753.82	9812.14	9781.74
30	4098.89	4792.05	4413.11	4455.01	4534.25
60	4312.33	5129.72	4582.69	4444.89	4577.70
90	3920.54	4642.83	4481.17	4538.43	4478.38

Fonte: Esta pesquisa (2017)

Tabela 3.10 - Vida média do sistema (k cópias)

T \ s	1	2	3	4	5
0	24.79	24.76	24.80	24.76	24.92
30	45.98	45.99	45.91	46.04	45.92
60	57.06	57.10	57.00	57.08	57.07
90	59.77	59.84	59.75	59.73	59.78

Fonte: Esta pesquisa (2017)

Tabela 3.11 - Vulnerabilidade (k cópias)

T \ s	1	2	3	4	5
0	4950,26	4041,32	3818,86	3794,71	3799,72
30	45417,5	4656,87	262,84	258,07	256,02
60	56360,8	12515,8	252,3	258,59	257,67
90	59082,4	5092,19	256,46	252,14	258,83

Fonte: Esta pesquisa (2017)

Com a obtenção dos valores de cada critério por meio da simulação em um software auxiliar foi possível a construção da matriz de consequência representada na Tabela 3.12, a partir da organização dos dados apresentados acima.

Tabela 3.12 - Matriz de consequências do modelo

Alternativas	Critérios					
	Não Programada	Preventiva	Perda	Custo	Vida média	Vulnerabilidade
(0, 1, 3)	7,02	33,13	9743,96	213,22	24,79	4950,26
(0, 2, 4)	7,05	33,31	9785,46	227,09	24,76	4041,32
(0, 3, 5)	7,03	33,34	9753,82	225,86	24,8	3818,86
(0, 4, 6)	7,01	33,75	9812,14	229,54	24,76	3794,71
(0, 5, 7)	7,01	33,4	9781,74	230,53	24,92	3799,72
(30, 1, 3)	9,68	12,04	4098,89	5,83	45,98	45417,5
(30, 2, 4)	9,72	12,11	4792,05	5,69	45,99	4656,87
(30, 3, 5)	9,69	12,1	4413,11	7,56	45,91	262,84
(30, 4, 6)	9,65	12,08	4455,01	7,57	46,04	258,07
(30, 5, 7)	9,68	12,09	4534,25	7,47	45,92	256,02
(60, 1, 3)	14,1	3,44	4312,33	5,1	57,06	56360,8
(60, 2, 4)	14,05	3,45	5129,72	5,07	57,1	12515,8
(60, 3, 5)	14,07	3,46	4582,69	6,58	57	252,3
(60, 4, 6)	14,06	3,45	4444,89	6,42	57,08	258,59
(60, 5, 7)	14,08	3,43	4577,7	6,53	57,07	257,67
(90, 1, 3)	16,3	0,39	3920,54	5,02	59,77	59082,36
(90, 2, 4)	16,33	0,39	4642,83	4,96	59,84	5092,19
(90, 3, 5)	16,28	0,39	4481,17	6,4	59,75	256,46
(90, 4, 6)	16,36	0,39	4538,43	6,36	59,73	252,14
(90, 5, 7)	16,36	0,41	4478,38	6,38	59,78	258,83

Fonte: Esta pesquisa (2017)

A partir da matriz de consequências e dos pesos determinados foi possível aplicar o método multicritério selecionado. Para aplicar o método do Promethee II foi utilizado um software para gerar a ordem procurada, *Visual PROMETHEE 1.4 Academic Edition*®, o único software baseado no método Promethee desenvolvido sob a supervisão e suporte dos autores da metodologia Promethee e Gaia. Inicialmente, foram inseridos os dados da matriz de consequências, os pesos, o objetivo de cada critério (se maximização ou minimização), a função de preferência do tomador de decisão, os limiares de preferência e indiferença, que nesse caso não existem por se tratar de critérios usuais, que significa que qualquer diferença de avaliação da alternativa representa uma preferência estrita.

A utilização do software possibilitou a ordenação dos valores que atendem aos critérios do tomador de decisão, a partir do fluxo líquido do criado pelo Promethee II, como pode ser visto na Tabela 3.13 e no gráfico da Figura 3.1. Segundo o ranking criado para ordenar as alternativas, a opção que se apresenta em primeiro lugar é a (30, 1, 3), ou seja, um intervalo de manutenção de B de 90 mil cópias, com estoque mínimo, s, igual a 4, e estoque máximo, S, igual a 6, sendo esse o cenário que atende aos objetivos do decisor de acordo com o grau de importância dado a cada critério, ou seja, esse é o melhor resultado.

Tabela 3.13 - Ordem obtida pelo fluxo líquido do PROMETHEE II

Alternativas	ϕ	ϕ^+	ϕ^-
(90, 4, 6)	0,2974	0,6395	0,3421
(60, 4, 6)	0,2316	0,6132	0,3816
(90,3, 5)	0,2263	0,6053	0,3789
(90, 5, 7)	0,2026	0,6000	0,3974
(90, 1, 3)	0,1789	0,5816	0,4026
(30, 5, 7)	0,1553	0,5763	0,4211
(60, 3, 5)	0,1316	0,5658	0,4342
(30, 1, 3)	0,1184	0,5579	0,4395
(30, 4, 6)	0,1053	0,5526	0,4474
(60, 1, 3)	0,0947	0,5474	0,4526
(60, 5, 7)	0,0789	0,5395	0,4605
(90, 2, 4)	0,0789	0,5316	0,4526
(30, 3, 5)	0,0632	0,5316	0,4684
(30, 2, 4)	0,0421	0,5211	0,4789
(60, 2, 4)	-0,0053	0,4947	0,5000
(0, 3, 5)	-0,3368	0,3316	0,6684
(0, 1, 3)	-0,3895	0,3053	0,6947
(0, 5, 7)	-0,3921	0,3026	0,6947
(0, 4, 6)	-0,4026	0,2947	0,6974
(0, 2, 4)	-0,4789	0,2579	0,7368

Fonte: Esta pesquisa (2017)

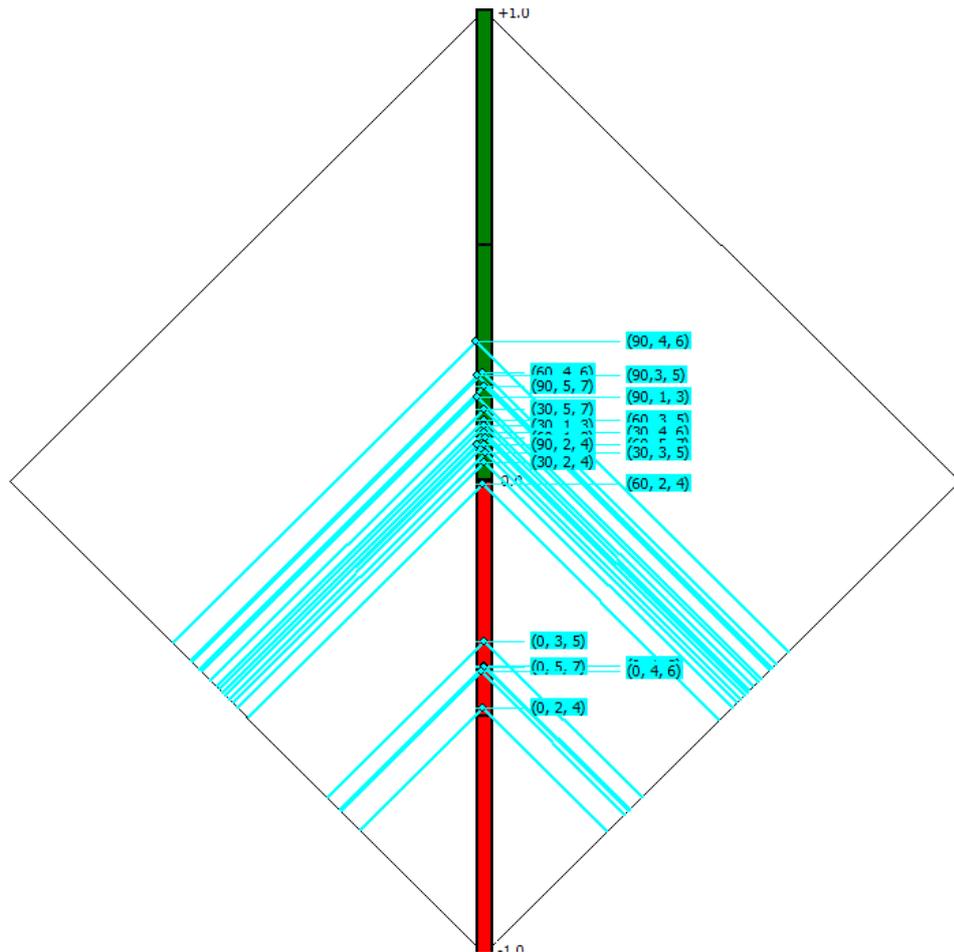


Figura 3.4 - Gráfico diamante resultante do Promethee II no software Visual Promethee
 Fonte: Esta pesquisa (2017)

A partir de aplicação do método de sobreclassificação foi possível verificar que os valores diferem do sugerido pelo modelo integrado de Rodriguez (2016), pois só avaliava apenas um critério e, foi utilizado um valor pré-estabelecido para o limite máximo de estoque, S . Com isso verificou-se que o intervalo de manutenção encontrado é maior e as quantidades de peças sobressalentes em estoque também.

3.2.2 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade tem por objetivo verificar o comportamento do modelo ao variar os parâmetros utilizados e interpretar as mudanças ocorrida, como forma de garantir a robustez do modelo desenvolvido.

No caso do modelo multicritério foram elaborados alguns cenários, nos quais variou-se os pesos dos critérios, como pode ser visto da Tabela 3.14.

Tabela 3.14 - Variação dos pesos dos critérios por cenário

Cenário \ Critério	Cenário					
	1	2	3	4	5	6
Custo	0,41	0,27	0,287	0,28	0,29	0,26
Perda	0,17	0,29	0,19	0,19	0,19	0,17
Não Programada	0,04	0,04	0,05	0,05	0,08	0,04
Preventiva	0,085	0,09	0,14	0,09	0,1	0,085
Vida Média	0,085	0,09	0,096	0,15	0,1	0,085
Vulnerabilidade	0,21	0,22	0,239	0,24	0,24	0,36

Fonte: Esta pesquisa (2017)

Primeiramente, alterou-se em 35% a mais o critério de custos, e obteve-se a seguinte ordenação na Tabela 3.15.

Tabela 3.15 - Análise de Sensibilidade I: Aumento de 35% no valor de um critério (cenário 1)

Alternativas	ϕ	ϕ^+	ϕ^-
(90, 1, 3)	0,7139	0,8499	0,1360
(60, 1, 3)	0,5654	0,7827	0,2173
(30, 1, 3)	0,5258	0,7619	0,2361
(90, 2, 4)	0,3898	0,6879	0,2981
(60, 2, 4)	0,3293	0,6623	0,3330
(30, 2, 4)	0,2236	0,6118	0,3882
(90, 5, 7)	0,1110	0,5545	0,4435
(60, 4, 6)	0,0813	0,5383	0,4570
(30, 3, 5)	-0,0078	0,4961	0,5039
(90,3, 5)	-0,0646	0,4607	0,5253
(30, 4, 6)	-0,1266	0,4367	0,5633
(90, 4, 6)	-0,1292	0,4273	0,5565
(60, 5, 7)	-0,1839	0,4080	0,5920
(30, 5, 7)	-0,2163	0,3908	0,6071
(0, 1, 3)	-0,2215	0,3893	0,6107
(60, 3, 5)	-0,2871	0,3564	0,6436
(0, 3, 5)	-0,3236	0,3382	0,6618
(0, 2, 4)	-0,4231	0,2861	0,7092
(0, 5, 7)	-0,4497	0,2741	0,7238
(0, 4, 6)	-0,5065	0,2434	0,7499

Fonte: Esta pesquisa (2017)

Foi feito um aumento de 45% no valor do peso do critério de perda por indisponibilidade, e obteve-se a ordem apresentada na Tabela 3.16.

Tabela 3.16 - Análise de sensibilidade II: Aumento de 45% no peso de um critério (cenário 2)

Alternativas	ϕ	ϕ^+	ϕ^-
(90, 1, 3)	0,2795	0,6326	0,3532
(90, 4, 6)	0,2732	0,6284	0,3553
(60, 4, 6)	0,2711	0,6332	0,3621
(90,3, 5)	0,2321	0,6089	0,3768
(90, 5, 7)	0,2263	0,6121	0,3858
(30, 1, 3)	0,2074	0,6026	0,3953
(60, 1, 3)	0,1789	0,5895	0,4105
(30, 5, 7)	0,1516	0,5747	0,4232
(30, 4, 6)	0,1421	0,5711	0,4289
(30, 3, 5)	0,1305	0,5653	0,4347
(60, 3, 5)	0,0979	0,5489	0,4511
(60, 5, 7)	0,0642	0,5321	0,4679
(90, 2, 4)	0,0489	0,5174	0,4684
(30, 2, 4)	-0,0011	0,4995	0,5005
(60, 2, 4)	-0,0532	0,4711	0,5242
(0, 3, 5)	-0,3811	0,3095	0,6905
(0, 1, 3)	-0,4158	0,2921	0,7079
(0, 5, 7)	-0,4442	0,2768	0,7211
(0, 4, 6)	-0,4774	0,2579	0,7353
(0, 2, 4)	-0,5311	0,2321	0,7632

Fonte: Esta pesquisa (2017)

Ao variar para mais 40% o critério da taxa de manutenções preventivas de B, obteve-se a ordenação apresentada na Tabela 3.17.

Tabela 3.17 - Análise de sensibilidade III: Aumento de 40% no valor de um critério (cenário 3)

Alternativas	ϕ	ϕ^+	ϕ^-
(90, 4, 6)	0,2446	0,6099	0,3654
(60, 4, 6)	0,2107	0,6017	0,3910
(90,3, 5)	0,1773	0,5776	0,4003
(90, 5, 7)	0,1656	0,5815	0,4159
(30, 5, 7)	0,1601	0,5787	0,4186
(90, 1, 3)	0,1312	0,5546	0,4234
(60, 3, 5)	0,1228	0,5614	0,4386
(30, 1, 3)	0,1149	0,5562	0,4412
(30, 4, 6)	0,1078	0,5539	0,4461
(30, 3, 5)	0,0758	0,5379	0,4621
(60, 1, 3)	0,0723	0,5361	0,4639
(30, 2, 4)	0,0618	0,5309	0,4691
(60, 5, 7)	0,0537	0,5268	0,4732
(90, 2, 4)	0,0372	0,5076	0,4704
(60, 2, 4)	-0,0136	0,4895	0,5031
(0, 3, 5)	-0,2845	0,3578	0,6422
(0, 5, 7)	-0,3319	0,3328	0,6646
(0, 4, 6)	-0,3371	0,3276	0,6647
(0, 1, 3)	-0,3439	0,3280	0,6720
(0, 2, 4)	-0,4248	0,2851	0,7099

Fonte: Esta pesquisa (2017)

Além disso, foi feita uma alteração em 50% no valor do peso do critério vida útil, ocasionando a ordem apresentada na Tabela 3.18.

Tabela 3.18 - Análise de sensibilidade IV: Aumento de 50% do peso de um critério (cenário 4)

Alternativas	ϕ	ϕ^+	ϕ^-
(90, 5, 7)	0,4058	0,6953	0,2895
(90, 4, 6)	0,3042	0,6374	0,3332
(90,3, 5)	0,2311	0,6084	0,3774
(60, 4, 6)	0,2163	0,6058	0,3895
(90, 1, 3)	0,2089	0,5974	0,3884
(90, 2, 4)	0,1258	0,5558	0,4300
(60, 3, 5)	0,1053	0,5526	0,4474
(30, 5, 7)	0,1047	0,5511	0,4463
(30, 1, 3)	0,0942	0,5458	0,4516
(60, 1, 3)	0,0937	0,5468	0,4532
(30, 4, 6)	0,0758	0,5379	0,4621
(60, 5, 7)	0,0674	0,5337	0,4663
(30, 3, 5)	0,0347	0,5174	0,4826
(30, 2, 4)	0,0253	0,5126	0,4874
(60, 2, 4)	0,0163	0,5058	0,4895
(0, 3, 5)	-0,3568	0,3216	0,6784
(0, 5, 7)	-0,4016	0,2979	0,6995
(0, 1, 3)	-0,4126	0,2937	0,7063
(0, 4, 6)	-0,4326	0,2784	0,7111
(0, 2, 4)	-0,5058	0,2432	0,7489

Fonte: Esta pesquisa (2017)

Ainda, modificou-se o cenário aumentando em 60% o critério da taxa de quantidade de manutenções não programadas, obtendo-se a seguinte ordenação apresentada na Tabela 3.19.

Tabela 3.19 – Análise de sensibilidade V: aumento de 60% do peso de um critério (cenário 5)

Alternativas	ϕ	ϕ^+	ϕ^-
(90, 4, 6)	0,2547	0,6174	0,3626
(60, 4, 6)	0,2168	0,6058	0,3889
(90,3, 5)	0,1979	0,5911	0,3932
(90, 5, 7)	0,1653	0,5805	0,4153
(30, 5, 7)	0,1579	0,5768	0,4189
(90, 1, 3)	0,1495	0,5668	0,4174
(30, 1, 3)	0,1221	0,5589	0,4368
(60, 3, 5)	0,1179	0,5589	0,4411
(30, 4, 6)	0,1147	0,5574	0,4426
(60, 1, 3)	0,0747	0,5374	0,4626
(30, 3, 5)	0,0632	0,5316	0,4684
(60, 5, 7)	0,0632	0,5316	0,4684
(90, 2, 4)	0,0537	0,5189	0,4653
(30, 2, 4)	0,0453	0,5226	0,4774
(60, 2, 4)	-0,0032	0,4958	0,4989
(0, 3, 5)	-0,3011	0,3495	0,6505
(0, 5, 7)	-0,3453	0,3253	0,6705
(0, 1, 3)	-0,3495	0,3253	0,6747
(0, 4, 6)	-0,3558	0,3174	0,6732
(0, 2, 4)	-0,4421	0,2763	0,7184

Fonte: Esta pesquisa (2017)

O último cenário avaliado apresenta um aumento de 45% no peso do critério vulnerabilidade, e a ordenação encontrada pode ser vista na Tabela 3.20.

Tabela 3.20 - Análise de sensibilidade VI: aumento de 45% do peso de um critério (cenário 6)

Alternativas	ϕ	ϕ^+	ϕ^-
(90, 4, 6)	0,4045	0,6945	0,2900
(90,3, 5)	0,2955	0,6411	0,3455
(60, 4, 6)	0,2518	0,6237	0,3718
(30, 5, 7)	0,2463	0,6221	0,3758
(60, 3, 5)	0,2437	0,6218	0,3782
(90, 5, 7)	0,2147	0,6063	0,3916
(30, 4, 6)	0,1558	0,5779	0,4221
(60, 5, 7)	0,1532	0,5766	0,4234
(30, 3, 5)	0,0747	0,5374	0,4626
(90, 1, 3)	0,0108	0,4987	0,4879
(90, 2, 4)	-0,0113	0,4876	0,4989
(30, 1, 3)	-0,0142	0,4918	0,5061
(30, 2, 4)	-0,0158	0,4921	0,5079
(60, 1, 3)	-0,0468	0,4766	0,5234
(60, 2, 4)	-0,1013	0,4471	0,5484
(0, 3, 5)	-0,3147	0,3426	0,6574
(0, 4, 6)	-0,3413	0,3261	0,6674
(0, 5, 7)	-0,3484	0,3247	0,6732
(0, 1, 3)	-0,4058	0,2971	0,7029
(0, 2, 4)	-0,4513	0,2721	0,7234

Fonte: Esta pesquisa (2017)

Nos dois primeiros cenários, a alternativa que encabeça a ordem obtida é (90, 1, 3), no primeiro caso, como o critério custos é o de maior importância, as variáveis referentes ao estoque têm o menor valor possível, a fim de reduzir os custos de armazenamento e o intervalo de manutenção é o mais rígido possível. No segundo cenário com o aumento do critério perda por indisponibilidade ocorreu um equilíbrio entre os pesos de perda, custos e vulnerabilidade, e o resultado reflete tal equilíbrio.

No terceiro cenário, o peso dos critérios, mesmo com o aumento de 45% do peso da taxa de manutenções preventivas, manteve-se uma distribuição de valores similares ao original, e a alternativa selecionada é a mesma, (90, 4, 6).

No cenário 4, o resultado obtido apresentou a alternativa (90, 5, 7) como a que apresenta o melhor resultado, uma vez que a vida útil teve um aumento de importância de 50%, os valores das variáveis de estoque e intervalo de manutenção altos garantem isso, pois tendo estoque, perdas e riscos são reduzidos e um intervalo rígido de manutenção subentende que o equipamento está com seu funcionamento garantido ao ser feita uma atividade de manutenção.

No penúltimo cenário, o quinto, o aumento de 60% no peso do critério de taxa de manutenções não programadas, manteve a mesma alternativa que a ordem original como a primeira, (90, 4, 6). No sexto e último cenário, também se obteve (90, 4, 6) como primeira alternativa na ordem, uma vez que a vulnerabilidade passa a ser o critério com maior importância, variáveis de estoque altas diminuem o risco associado a esse critério.

Vale salientar que em todos os casos o valor do intervalo de manutenção, T , permaneceu o mesmo para a alternativa que melhor atende aos pesos e critérios, alterando-se somente o valor dos estoques mínimo e máximo, que teve variações pontuais em três cenários.

Sendo assim, é possível comprovar que o modelo converge para o resultado obtido inicialmente, mostrando sua robustez.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho tratou de um modelo multicritério para suportar a utilização de uma política integrada de manutenção Piggyback e gestão de estoques com política de revisão contínua desenvolvida por Rodriguez (2016).

A modelagem multicritério vem como forma de agrupar tudo que o tomador de decisão necessita e deseja para poder tomar a decisão mais acertada quanto a seus objetivos. Na maior parte do tempo, os critérios que são utilizados para tomar uma decisão são confrontantes, e o decisor não sabe por qual caminho seguir quando tratados de maneira separada, daí a necessidade de uso do multicritério.

Neste trabalho, buscou-se traduzir o que interessa para o decisor em critérios e construir um modelo que o apoie a tomar a decisão mais acertada. O modelo construído partiu da necessidade de levar em consideração outros critérios para a utilização do modelo integrado de manutenção e estoque, além do que já era utilizado, os custos de serviços totais, pois, muitas vezes, é preferível ter um pior desempenho em custos do que em outro critério relevante para o decisor. Logo, determinou-se outros critérios: a vida útil do sistema, a quantidade de manutenções não programadas no equipamento B, as manutenções preventivas no equipamento B, perda por indisponibilidade e vulnerabilidade.

A determinação dos valores de cada critério foi feita a partir de modelagem e simulação em um software computacional, como busca de uma aproximação da realidade. Partiu-se do modelo integrado de manutenção e estoque desenvolvido por Rodriguez (2016) para construir um algoritmo que determinasse os valores dentro de intervalos determinados. Com tal atividade, foi possível construir uma matriz de consequências para obtenção do modelo multicritério e encontrar os valores que melhor atendiam as necessidades do tomador de decisão, nesse caso sendo o método utilizado o PROMETHEE II, foi escolhido por formar uma pré-ordem completa não admitindo incomparabilidades, facilitando assim, a tomada de decisão.

Como resultado, obteve-se um resultado diferente do encontrado no modelo integrado de Rodriguez (2016), mostrando que avaliar um problema apenas por uma perspectiva nem sempre é o suficiente para tomar a melhor decisão quando existe a necessidade de atender outros objetivos.

Foi observado, a partir da construção dos valores de cada critério por meio da simulação, que o intervalo de manutenção em todos os cenários simulados, foi o mais rígido (que impõe

uma maior exigência para que oportunidades geradas pelo equipamento A sejam aproveitadas), alterando apenas as variáveis referentes ao estoque mínimo e máximo.

Os resultados poderiam apresentar um comportamento diferente caso a amplitude determinada para o estoque fosse maior, gerando valores mais diferenciados para todos os critérios. Bem como a redução do intervalo de manutenção talvez trouxesse resultados diferentes. Porém, apesar de tais suposições, vale salientar, que o presente trabalho representa uma oportunidade de enxergar os modelos integrados de uma forma diferente, por meio da abordagem multicritérios, pois dentro da pesquisa realizada para o desenvolvimento desse trabalho não foi encontrado algo em torno dessa temática.

4.1 Dificuldades e limitações

O estudo atingiu seu objetivo geral ao apresentar um modelo multicritério que suporta a utilização do modelo integrado de manutenção e estoque, porém é preciso salientar que houveram limitações como: o uso de modelagem e simulação não é uma reprodução fidedigna da realidade de uma organização; a coleta de dados para a aplicação efetiva deste modelo não foi possível pelo fato de não ter sido encontrada uma empresa disposta a compartilhar os seus dados; e, uma grande dificuldade foi a determinação dos parâmetros para realização dos cálculos, pois buscava-se um aproximação da realidade.

4.2 Recomendações para trabalhos futuros

Por se tratar de uma problemática pouco explorada, existem diversas possibilidades de estudo, como a aplicação do modelo em um estudo de caso para entender efetivamente a sua utilização e viabilidade, a determinação de novos critérios que venham a intervir no modelo integrado em questão, a utilização de outros modelos integrados para criação de modelos multicritérios para suportar a decisão dos melhores valores para a variáveis de decisão, a utilização de outros métodos multicritérios para suportar uma política integrada. Além disso, a contribuição para o estado da arte dessa temática é fundamental para que novos trabalhos venham a surgir e modificar a forma como as organizações trabalham.

REFERÊNCIAS

- ACHARYA, D.; NAGABHUSHANAM, G.; ALAM, S. Jointly optimal block-replacement and spare provisioning policy. **IEEE Transactions on Reliability** 35 (4), 1986. - pp 447–451.
- ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. - São Paulo: Atlas, 2013.
- ALMEIDA, A T; SOUZA, F. M. C. de (Org.) . **Gestão da Manutenção na Direção da Competitividade**. 1. ed. Recife: Editora Universitária, 2001. v. 1. 380p .
- ALMEIDA, A. T.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALENCAR, M H ; FERREIRA, R. J. P.; ALMEIDA FILHO, A. T. de; GARCEZ, T. V. Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis; **International Series in Operations Research & Management Science** vol 231. 1. ed. New York: Springer, 2015. v. 1. 416p .
- ARMSTRONG, M. J.; ATKINS, D.A. Joint optimization of maintenance and inventory policies for a simple system. **IIE transactions** 28, 1996. – pp. 415–424.
- BABIARZ, B.; CHUDY-LASKOWSKA, K. Forecasting of failures in district heating systems. **Engineering Failure Analysis** 56. – 2015. – pp. 384, 395.
- BRANS, J. MARESCHAL, B. **PROMÉTHÉE – GAIA: une méthodologie d’aide à la décisions em présence de critères multiplex**. Bruxelles: Éditions de L’Université de Bruxelles, 2002.
- BREZAVSCEK, A.; HUDOKLIN, A.. Joint optimization of block-replacement and periodic-review spare-provisioning policy. **IEEE Transactions on Reliability** 52 (1), 2003. - pp 112–117.
- CAMPOS, A.C.S.M.; DAHER, S.F.D.; ALMEIDA, A.T.: New patents on business process management information systems and decision support. **Recent Patents on Computer Science** 4, 2011. – pp 91–97.
- CHEN, M.-C.; HSU, C.-M.; CHEN, S.-W. Optimizing joint maintenance and stock provisioning policy for a multi-echelon spare part logistics network. **Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers** 23 (4), 2006. – pp. 289–302.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. Administração da produção e operações – manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- DEKKER R. Applications of maintenance optimization models: a review and analysis. **Reliability Engineering and System Safety**. - 1996. - Vol. 51. - pp. 229-240.
- ELWANY, A.; GEBRAEEL, N., 2008. Sensor-driven prognostic models for equipment replacement and spare parts inventory. **IIE Transactions** 40 (7), 2008. – pp 629–639.
- GODOY D. R.; PASCUAL R.; KNIGHTS P. A decision-making framework to integrate maintenance contract conditions with critical spares management. **Reliability Engineering and System Safety**, 2014.

ILGIN, M.A.; TUNALI, S. Joint optimization of spare parts inventory and maintenance policies using genetic algorithms. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology** 34 (5-6), 2007. – pp 594–604.

KABIR, A.B.M.Z.; FARRASH, S.H.A. Simulation of an integrated age replacement and spare provisioning policy using SLAM. **Reliability Engineering and System Safety** 52 (2), 1996. – pp 129–138.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. 5ª ed. - Rio de Janeiro: Qualitymark Editora: Petrobrás, 2014.

LIANG, TOM Y. “Optimum Piggyback Preventive Maintenance Policies.” **IEEE Transactions on Reliability** R-34.5 (1985).

LIAO, H.; RAUSCH, M. Spare Part Inventory Control Driven by Condition Based Maintenance. **Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 2010 Proceedings. *IEEE* - January of 2010.

MARESCHAL, B. **Visual PROMETHEE Academic Edition**. Versão 1.4.0.0. Disponível em: <<http://www.promethee-gaia.net/software.html>>. 2011 - 2013.

PANAGIOTIDOU, S. Joint optimization of spare parts ordering and maintenance policies for multiple identical items subject to silent failures. **European Journal of Operational Research** (2013).

POHEKAR S. D.; RAMACHANDRAN, M. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**. – India, 2004, p. 365-381.

PORRAS, E.; DEKKER, R. An inventory control system for spare parts at a refinery: Na empirical comparison of different re-order point methods. **European Journal of Operational Research**. – 2008, p. 101-136.

REGO, J.R.; MESQUITA, M. A. Spare parts inventory control: a literature review. **Produção**, v. 21, n. 4, out/dez. 2011, p.656-666.

RODRIGUEZ, T. O. **Contribuições ao modelo de manutenção preventiva “Piggyback” pela abordagem multicritério e de gestão de sobressalentes**. Recife, 2016. 98p. (Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco/UFPE)

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. Kluwer Academic Publishers, 1996.

SARKER, R.; HAQUE, A. Optimization of maintenance and spare provisioning policy using simulation. **Applied Mathematical Modelling** 24 (10), 2000. – pp 751–760.

SIQUEIRA, I. P. de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. - Rio de Janeiro : Qualitymark, 2005.

SLACK, N; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2ª ed. São Paulo, 2002.

VAN HORENBEEK, A.; BURÉ, J.; CATTRYSSÉ, D.; PINTELON, L.; VANSTEENWEGEN, P. Joint maintenance and inventory optimization systems: A review. **International Journal Production Economics**. - 2013. - 2 : Vol. 143. - pp. 446-508.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. John Wiley & Sons Ltd., 1992.

WANG, H. A survey of maintenance policies of deteriorating systems. **European Journal of Operational Research** 139 (3), 2002. – pp. 469–489.

WANG, L.; CHU, J.; MAO, W. An optimum condition-based replacement and spare provisioning policy based on Markov chains. **Journal of Quality in Maintenance Engineering** 14 (4), 2008. – pp. 387–401.

WANG, H.; PHAM, H. Imperfect maintenance. **European journal of operational research** 94 (3), 1996. – pp. 425–438.

XIE, J.; WANG, H. Joint Optimization of Condition-Based Preventive Maintenance and Spare Ordering Policy. **Proceedings of the 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing**. IEEE, 2008. - pp. 1–5.

YOO, Y.K.; KIM, K. J.; SEO, J. Optimal joint spare stocking and block replacement policy (cost modelling of spare stocking and block replacement). **International Journal of Advanced Manufacturing Technology** 18 (12), 2001. – pp. 906–909.