



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

Priscilla Pereira de Lima Dantas

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Av. da Arquitetura - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-550- Recife – PE
priscillapld@hotmail.com

Túlio Fidel Orrego Rodriguez

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
A Av. da Arquitetura - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-550- Recife – PE
tuliofor@gmail.com

Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Av. da Arquitetura - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-550- Recife – PE
cristianogesm@gmail.com

RESUMO

A manutenção passou a ser vista de forma diferente, se tornou primordial na garantia do bom funcionamento de um sistema produtivo. Apesar disso, algumas premissas assumidas pelo planejamento de manutenção não são inteiramente cumpridas, como a existência de peças sobressalentes sempre disponíveis. Com tais evidências, estudiosos começaram a desenvolver modelos integrados de manutenção e gestão de sobressalentes, usados para buscar os níveis que melhor atendam a esta política integrada. A integração é feita, normalmente, baseada no critério de custos totais, mas nem sempre só esse fator é de interesse do tomador de decisão. Portanto, o presente trabalho tem por objetivo a elaboração e aplicação de um modelo multicritério para suportar a utilização de um modelo integrado desenvolvido por [Rodriguez 2016]. O modelo de sobreclassificação utilizando foi o PROMETHEE II para gerar uma ordenação dos valores que atendem aos interesses do decisor.

Palavras-chave: Decisão Multicritério. Gestão de sobressalentes. Modelo de Manutenção. Modelos Integrados.

Tópico (ADM – Apoio à Decisão Multicritério)

ABSTRACT

The maintenance, 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, 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]. New criteria have been introduced as choice dimensions and an outranking method was developed using PROMETHEE II to generate an order of values that reflects the interests of the decision maker.

Keywords: Multicriteria decision. Spare parts management. Maintenance Model. Joint models

Paper topic (MCDA – Multi-Criteria Decision Aid)



1. Introdução

A manutenção é uma atividade que busca garantir o pleno funcionamento dos componentes 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 et. al. 2006].

De maneira tradicional, as políticas de manutenção consideram apenas reparo ou substituição como consequência à ocorrência da falha. É por isto, que a existência de peças sobressalentes em estoque é uma premissa [Yoo et al 2001]. Na prática, o planejamento e a execução do modelo da manutenção adotado na unidade produtiva, afeta diretamente a disponibilidade de peças sobressalentes no inventario. Assim, se o nível de peças em estoque estivesse por baixo da quantidade solicitada para efetuar as substituições, a confiabilidade do sistema será afetada. E por outro lado, se o nível estivesse sobre dimensionado, os custos de manutenção do estoque serão elevados [Rodriguez et al 2016].

Para [Horenbeek et al. 2013], a junção de manutenção e peças sobressalentes leva em consideração o trade-off entre manutenção e políticas de estoque.

Autores como [Panagiotidou 2013] e [Horenbeek et al. 2013] entre outros tem estudado políticas que integrassem o planejamento da manutenção com o planejamento gestão de sobressalentes. Porém, um fato observado ao se estudar as políticas de integradas de manutenção e estoque é o que a grande maioria leva em consideração apenas o critério custo para justificar tal integração.

Segundo [Jajimoggalla e Beela 2012], alguns critérios podem interferir na tomada de decisão em relação a peças sobressalentes, como custos, disponibilidade, demanda, entre outros. E, segundo [Triantaphy et al. 1997], a manutenção pode levar em consideração critérios como disponibilidade, confiabilidade e mantabilidade. Sendo assim, é possível perceber que o custo não é, necessariamente, o único critério que deveria influenciar na hora de realizar a integração de uma política de manutenção com a gestão de sobressalentes, pois a integração envolve dois planejamentos que já podem ser influenciados por vários critérios.

Partindo dessa lógica, esse trabalho tem o propósito de utilizar múltiplos objetivos para suportar a utilização da política integrada. Segundo [Almeida et al 2015] é possível afirmar que problemas multiobjetivos podem ser abordados usando métodos MCDM (Modelos de Decisão Multicritério) ou pela Otimização Multiobjetivo. Para tanto, a modelagem multicritério por oferecer uma interação com as preferências de um tomador de decisão e incluir seu julgamento de valor foi vista como mais vantajosa para a situação, uma vez que tais preferências são obtidas a partir de avaliações subjetivas por parte do decisor e as mesmas são inerentes a realidade, aproximando assim a modelagem do problema real enfrentado.

Sendo assim, o uso da modelagem multicritério busca encontrar a alternativa que melhor represente às preferencias do decisor, levando em consideração mais de um critério de decisão, e usar eficientemente os recursos, aumentar a disponibilidade e a confiabilidade do sistema, entre outros.

O presente trabalho apresenta a seguinte estruturação. Na próxima seção é apresentado um levantamento bibliográfico da literatura relevante sobre a temática. Na seção 3, procedimento de construção de modelo multicritério a partir de um modelo integrado para os critérios utilizados e por último as conclusões são apresentadas na seção 4.

2. Revisão da literatura

Uma das premissas da manutenção é a disponibilidade de peças sobressalentes ou que podem ser adquiridas em tempo hábil para atender a demanda do seu planejamento e, assim, a manutenção não seja postergada [Liao e Rausch 2010]. Na prática, essa premissa na maioria das vezes não ocorre devido, principalmente, à independência do planejamento da manutenção e gestão de sobressalentes.



Para [Xie e Wang 2008] não existe uma política ótima se existe um tratamento separado ou sequencial entre modelos dependentes. Sendo assim, políticas convencionais não são eficientes e se faz necessário que interajam na sua atuação [Panagiotidou 2013].

Devido a esse fato, autores como [Sarker et al 2000], [Armstrong e Atkins 1996], [Kabir e Al-Olayan 1996], [Elwany e Gebraeel 2007], [Xie e Wang 2008], entre outros, tem desenvolvido modelos integrados visando apenas único critério a ser atingido para justificar a integração. [Horenbeek et al. 2013] fez um levantamento dos principais tipos de modelos integrados, que na essência variam de acordo com as premissas e condições estabelecidas.

Partindo dessa lógica, autores como [Panagiotidou 2013] e [Rodriguez et al. 2016] integraram o planejamento da manutenção com a gestão de sobressalentes definindo como único critério a ser atingido o custo de serviço e, assim, encontrar a sua melhor alternativa usando métodos matemáticos.

Porém, há um grande empecilho está em fazer a otimização do problema e encontrar a melhor alternativa quando o interesse está em mais de um critério. Uma alternativa a esta problemática é a utilização de modelos multicritério, cuja abordagem é usada em algumas políticas de manutenção e de gestão de sobressalentes que atuam de forma isolada, como pode ser visto em [Ferreira et al 2008], [Almeida 2000], [Roda et al 2014], [Jajimoggala e Beela 2012], e [Shafiee 2015], entre outros.

É assim, portanto, que uma política integrada, por ser a conjunção de diversos modelos, pode fornecer um grande número de critérios importantes para o decisor que deseja uma visão abrangente sobre o problema enfrentado. Nesse sentido, observa-se a pertinência da abordagem multicritério para suportar a decisão no contexto de uma política integrada de manutenção e estoque de sobressalentes.

2.1 Política integrada de manutenção e gestão de sobressalentes

A política a ser suportada pela utilização do método de apoio à decisão, é a criada por [Rodriguez 2016], é baseada no modelo de manutenção Piggyback criado por [Liang 1985] e o modelo de revisão contínua de estoque.

A modelo Piggyback é descendente da manutenção oportunista com horizonte infinito e em que os componentes atuam em série. Em suma, se o sistema falhar, e o motivo não for o componente oportunista, existe a oportunidade de substituir o componente de forma preventiva se sua idade estiver dentro do intervalo de manutenção preventiva, em qualquer outro caso seria substituído corretivamente.

Os critérios abordados no modelo de manutenção por [Liang 1985] são o número de manutenções corretivas (MC) dos componentes e o custo de serviço (CS), as quais são representadas em função da vida média do sistema.

Na política de gestão de estoque utilizada por [Rodriguez 2016], dois tipos de pedidos de peças são considerados. 1) O *pedido regular*, que é ativado quando a quantidade de peças em estoque atinge o mínimo nível (s) de estoque e a quantidade a ser encomendada é o faltante para atingir seu limite máximo (S), e o tempo de pedido é contabilizado desde que foi acionado o pedido até a sua estocagem, que depende diretamente da taxa de falha do componente. 2) O *pedido de emergência*, que é efetivado quando o estoque se encontra zerado e que fornecerá uma peça ao sistema, com menor tempo de entrega, porém, com maior custo por peça que no pedido regular.

Em consequência, as variáveis associadas ao modelo de gestão de sobressalentes são o custo de pedido ($C_{p_}$), a quantidade de pedidos ($N_$) diferenciando entre regular (r) e de emergência (e). Por sua vez, foram medidos o custo de manutenção do estoque (C_m) por unidade e por unidade de tempo e foi penalizada a parada do sistema em função do custo por unidade de tempo em detenção. O comportamento do componente B é estudado aqui, e os custos do componente A são agrupados.

A partir do exposto, [Rodriguez 2016] utilizou o processo de modelagem e simulação para integrar os modelos. Com tudo, o objetivo principal da integração dos modelos está em



aperfeiçoar a interação entre os modelos para proporcionar vantagem na atuação dos processos envolvidos, além, de garantir o contínuo funcionamento da unidade produtiva.

Ao todo, o custo total da política integrada para k sistemas é o somatório do custo resultante dos modelos quando estes agem de forma síncrona. As métricas são expressas com base na quantidade de unidades produzidas.

Para tanto o objetivo traçado por [Rodriguez 2016] ao integrar as políticas supracitadas é avaliar o comportamento do modelo integrado quanto ao número de peças em estoque, taxa de pedidos e ao número de paradas do sistema e, mediante busca exaustiva descobrir a quantidade ótima nos níveis de estoque (S, s) e o intervalo de manutenção (T) que proporcionem o menor valor ao critério custo de serviço.

2.2 Métodos de apoio a decisão multicritério

Segundo [Vincke 1992], 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. 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.

Assim, 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 [Pohekar 2004].

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
- Métodos de sobreclassificação
- Métodos Interativos

Segundo [Almeida 2013], cabe ao responsável pelo problema multicritério, seja o decisor ou analista, identificar qual o melhor modelo de decisão a ser adotado para que seja possível encontrar a melhor solução dentro dos critérios considerados e as alternativas apresentadas.

2.2.1 Métodos de sobreclassificação: PROMETHEE II

Os métodos de sobreclassificação, que, segundo [Almeida 2013], tratam de uma relação binária, faz uma comparação par a par entre as alternativas para verificar a relação entre as mesmas.

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.

Esta relação 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:

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

Na qual:

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

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

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

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:

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

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

[Brans e Mareschal 2002] propuseram outra forma de calcular os fluxos, equações 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).

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

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

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.

2.3 Estruturação e Aplicação do Modelo

O modelo multicritério busca determinar os melhores valores das variáveis de decisão que determinam a opção que melhor atende as preferencias do tomador de decisão,

[Almeida et al 2015] descreve uma metodologia baseada em doze passos apresentados na Figura 1 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 e a possibilidade de retorno a uma etapa anterior como forma de refinamento e melhoria.

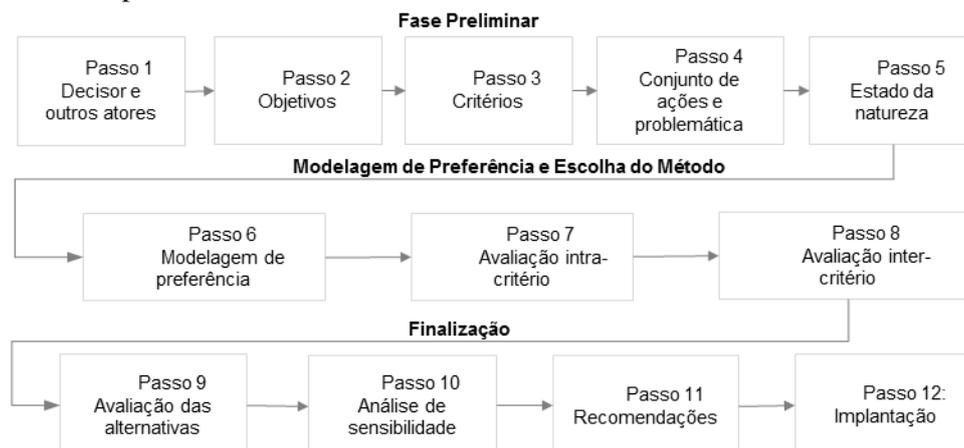


Figura 1: Metodologia para a criação do modelo Multicritério (Adaptado de: Almeida et al 2015)



3. Modelo multicritério

A partir da metodologia apresentada por [Almeida et al 2015] para determinação de um modelo multicritério, foi elaborada uma proposta para suportar a utilização e definição de uma política integrada de manutenção e gestão de estoques. As macro etapas do procedimento de [Almeida et al 2015] podem ser vistas na sequência.

3.1 Fase preliminar

Nesta primeira fase, as decisões elementares são tomadas, serão decisivas para todo o processo, sendo possível eliminar alguns modelos. O decisor e o analista são identificados.

Os objetivos para utilizar o modelo integrado das políticas apresentados acima pode ser traduzido como o aumento da eficácia e eficiência da atividade de manutenção e de gestão de sobressalentes atuando de forma síncrona, 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 aumentar as manutenções preventivas aproveitando a seu máximo a vida útil do componente. Por fim, o decisor busca aumentar a vida média do sistema para garantir maior tempo de funcionamento do seu sistema e o funcionamento ininterrupto.

A partir da definição dos objetivos do decisor é preciso que exista uma representação dos mesmos através de critérios, para mensurar o desempenho desse objetivo [Keeney 1992]. Com isto, é possível associar seis critérios ou atributos que possam representá-los, vistos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Critérios de escolha para o modelo multicritério

C ₁	Custo de serviço	C ₄	Taxa de manutenção corretiva
C ₂	Perda por indisponibilidade	C ₅	Taxa de manutenção preventiva
C ₃	Vulnerabilidade do sistema	C ₆	Vida média do sistema

C₁: A redução dos custos é a principal responsável pelo aumento da receita. 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 de forma síncrona.

C₂: 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.

C₃: Tempo em que não existe peça em estoque caso seja necessário à sua utilização. Sua redução se justifica pela 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.

C₄: A redução da quantidade de manutenções corretivas no componente B garantem que o mesmo seja capaz de atingir em maior proporção a sua vida útil, e melhorar o funcionamento da política.

C₅: O aumento do número das manutenções preventivas garante a maior disponibilidade do sistema. E maior controle no planejamento da gestão de sobressalentes.

C₆: 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 maximizar a vida média do sistema para melhorar o desempenho do mesmo e, consequentemente, 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.

Vale ressaltar, que existem alguns fatores associados ao estado da natureza do problema 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. Podendo assim, vir a influenciar o resultado do processo, mas que não podem ser controlados.

3.1.1 Extensão do Modelo Integrado para a Obtenção dos Critérios Faltantes

O método multicritério requer que sejam elaboradas alternativas, e para tanto foram gerados valores simulados a partir do modelo integrado de *Piggyback* e gestão de estoque por revisão contínua de [Rodriguez 2016].

Sendo assim, foi desenvolvida uma extensão para a modelagem e simulação do modelo integrado a partir do uso de programação computacional, configurando o modelo de [Rodriguez 2016] para se obter os valores às alternativas dos critérios que o tomador de decisão sinalizou como relevantes.

Portanto, a partir do desenvolvimento do modelo integrado apresentado foi possível simular os valores para as alternativas e critérios, criando o ambiente necessário para a utilização do método multicritério.

3.2 Fase de modelagem e escolha do método

A segunda fase, modelagem de preferências e escolha do método, é onde a definição do método multicritério é realizada, sendo esta a mais flexível de todas, devendo seus três passos ser executados de maneira simultânea para dar um melhor entendimento da situação.

Logo, 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 intra-critério se dá pela determinação de pesos para cada critério, visto na Tabela 3.2. O somatório dos valores dados aos pesos deve ser igual a 1, e, em concordância com o decisor.

Tabela 3.2: Peso dos critérios

C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
0,30	0,20	0,25	0,05	0,10	0,10

O método predominante para o desenvolvimento do modelo é o PROMETHEE II, que é utilizado para problemáticas de ordenação, caso apresentado aqui, e também estabelece uma pré-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. Sendo assim, o método atende ao estabelecido nas etapas anteriores.

Com a obtenção dos valores de cada critério por meio da simulação foi possível a construção da matriz de consequência representada na Tabela 3.3, a partir da organização dos dados apresentados acima.



Tabela 3.3: Matriz de consequências do modelo

Alternativa	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
(0, 1, 3)	213.22	9744.0	4950.26	7.02	33.13	24.79
(0, 2, 4)	227.09	9785.5	4041.32	7.05	33.31	24.76
(0, 3, 5)	225.86	9753.8	3818.86	7.03	33.34	24.80
(0, 4, 6)	229.54	9812.1	3794.71	7.01	33.75	24.76
(0, 5, 7)	230.53	9781.7	3799.72	7.01	33.40	24.92
(30, 1, 3)	5.83	4098.9	45417.50	9.68	12.04	45.98
(30, 2, 4)	5.69	4792.1	4656.87	9.72	12.11	45.99
(30, 3, 5)	7.56	4413.1	262.84	9.69	12.10	45.91
(30, 4, 6)	7.57	4455.0	258.07	9.65	12.08	46.04
(30, 5, 7)	7.47	4534.3	256.02	9.68	12.09	45.92
(60, 1, 3)	5.10	4312.3	56360.80	14.10	3.44	57.06
(60, 2, 4)	5.07	5129.7	12515.80	14.05	3.45	57.10
(60, 3, 5)	6.58	4582.7	252.30	14.07	3.46	57.00
(60, 4, 6)	6.42	4444.9	258.59	14.06	3.45	57.08
(60, 5, 7)	6.53	4577.7	257.67	14.08	3.43	57.07
(90, 1, 3)	5.02	3920.5	59082.36	16.30	0.39	59.77
(90, 2, 4)	4.96	4642.8	5092.19	16.33	0.39	59.84
(90, 3, 5)	6.40	4481.2	256.46	16.28	0.39	59.75
(90, 4, 6)	6.36	4538.4	252.14	16.36	0.39	59.73
(90, 5, 7)	6.38	4478.4	258.83	16.36	0.41	59.78

A partir da matriz de consequências e dos pesos da Tabela 3.3 foi possível aplicar o método multicritério PROMETHEE II e no que foi utilizado o software *Visual PROMETHEE 1.4 Academic Edition*®, para gerar a ordem e que foi desenvolvido sob a supervisão e suporte dos autores da metodologia PROMETHEE e Gaia.

3.3 Finalização

A fase de finalização, é quando o modelo é efetivamente aplicado na busca do resultado. Assim, é possível realizar uma análise de sensibilidade e, talvez, retroceder os passos para mudanças e melhorias

Com o auxílio do software foi possível a ordenação dos valores que atendem aos critérios do tomador de decisão, a partir do fluxo líquido criado pelo PROMETHEE II, como pode ser visto na Tabela 3.4. A obtenção do fluxo líquido é resultando da diferença entre o fluxo de entrada e de saída. O fluxo de entrada representa o quanto uma alternativa é sobreclassificada pelas outras, já o fluxo de saída representa o quanto uma alternativa sobreclassifica as outras.

Para estabelecer os fluxos de entrada e saída, foi calculado o índice de preferências para cada alternativa, comparando-as par a par, ou seja, fez-se a relação valorada entre as alternativas, a partir da equação 2.1. Uma vez construída a matriz de índices de preferências, o cálculo dos fluxos de entrada e saída são imediatos, com as equações 2.2 e 2.3, e, conseqüentemente, o fluxo líquido, com a equação 2.6.

Segundo o ranking criado para ordenar as alternativas, a opção que se apresenta em primeiro lugar é a (90, 4, 6), ou seja, um intervalo de manutenção de B de 90 mil cópias, com estoque mínimo, igual a 4, e estoque máximo, 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.

A partir de aplicação do método de sobreclassificação foi possível verificar que os valores diferem do sugerido pelo modelo integrado de [Rodriguez 2016], pois foi avaliado 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.



Tabela 3.4: Ordem obtida pelo fluxo líquido do PROMETHEE II

<i>N^o</i>	<i>Alternativa</i>	ϕ	ϕ^+	ϕ^-	<i>N^o</i>	<i>Alternativa</i>	ϕ	ϕ^+	ϕ^-
1	(90, 4, 6)	0.2974	0.6395	0.3421	11	(60, 5, 7)	0.0789	0.5395	0.4605
2	(60, 4, 6)	0.2316	0.6132	0.3816	12	(90, 2, 4)	0.0789	0.5316	0.4526
3	(90,3, 5)	0.2263	0.6053	0.3789	13	(30, 3, 5)	0.0632	0.5316	0.4684
4	(90, 5, 7)	0.2026	0.6000	0.3974	14	(30, 2, 4)	0.0421	0.5211	0.4789
5	(90, 1, 3)	0.1789	0.5816	0.4026	15	(60, 2, 4)	-0.0053	0.4947	0.5000
6	(30, 5, 7)	0.1553	0.5763	0.4211	16	(0, 3, 5)	-0.3368	0.3316	0.6684
7	(60, 3, 5)	0.1316	0.5658	0.4342	17	(0, 1, 3)	-0.3895	0.3053	0.6947
8	(30, 1, 3)	0.1184	0.5579	0.4395	18	(0, 5, 7)	-0.3921	0.3026	0.6947
9	(30, 4, 6)	0.1053	0.5526	0.4474	19	(0, 4, 6)	-0.4026	0.2947	0.6974
10	(60, 1, 3)	0.0947	0.5474	0.4526	20	(0, 2, 4)	-0.4789	0.2579	0.7368

3.3.1 Análise de sensibilidade

Para o análise de sensibilidade ou robustez foram elaborados VI cenários, nos quais variou-se os pesos dos critérios, como pode ser visto da Tabela 3.5.

Tabela 3.5: Variação dos pesos dos critérios por cenário

	I	II	III	IV	V	VI
C₁	0,41	0,27	0,287	0,28	0,29	0,26
C₂	0,17	0,29	0,19	0,19	0,19	0,17
C₃	0,21	0,22	0,239	0,24	0,24	0,36
C₄	0,04	0,04	0,05	0,05	0,08	0,04
C₅	0,085	0,09	0,14	0,09	0,1	0,085
C₆	0,085	0,09	0,096	0,15	0,1	0,085

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 componente 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. Considerações finais

O presente trabalho tratou de um modelo multicritério para suportar a utilização de uma política integrada de manutenção *Piggyback* e de gestão de sobressalentes de revisão contínua desenvolvida por [Rodriguez 2016].

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 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, que foi escolhido por formar uma pré-ordem completa não admitindo incomparabilidades, facilitando assim, a tomada de decisão.

Como resultado, obteve-se uma configuração diferente da encontrada 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. No modelo integrado de [Rodriguez 2016] os valores encontrados para as variáveis de decisão representam um valor ótimo para o problema, pois avalia unicamente o critério custo de serviço. No caso estudado no presente documento, uma solução ótima não foi encontrada, e sim, foi estabelecida uma ordem dos possíveis valores que as variáveis podem assumir para atender a todos os objetivos almejados, sendo alguns conflitantes, para o tomador de decisão.

Foi observado também, 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, alterando apenas as variáveis referentes ao estoque mínimo e máximo. Ou seja, os resultados poderiam apresentar um comportamento diferente caso a amplitude determinada para o estoque fosse maior, gerando valores majormente diferenciados para todos os critérios. Bem como a redução do intervalo de manutenção talvez trouxesse resultados diferentes. Porém, vale salientar, que o presente trabalho representa uma oportunidade de enxergar os modelos integrados de uma forma diferente, por meio da abordagem multicritérios.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

Referências

ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. - São Paulo: Atlas, 2013.

ALMEIDA, A. T. Multicriteria decision making on maintenance: Spares and contracts planning. **European Journal of Operational Research** 129, 2001. – pp. 235 – 241.

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.

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.

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.

ELWANY, A.; GEBRAEEL, N., 2008. Sensor-driven prognostic models for equipment replacement and spare parts inventory. **IIE Transactions** 40 (7), 2008. – pp 629–639.

FERREIRA, R. J. P.; ALMEIDA, A. T.; CAVALCANTE, C. A. V. A multi-criteria decision model to determine inspection intervals of condition monitoring based on delay time analysis. **Reliability Engineering and System Safety** 94, 2009. – pp. 905-912.

JAJIMOGGALA, S.; BEELA, K. R. S. Spare parts criticality evaluation using hybrid multiple criteria decision making technique. **Int. J. Information and Decision Sciences**. 2012. Vol 4, No. 4. – pp. 350-370.

KABIR, A. B. M. Z., & AL-OLAYAN, A. S. A stocking policy for spare part provisioning under age based preventive replacement. **European Journal of Operational Research**, 1996. 90(1), - pp 171–181.

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 os spare parts ordering and maintenance policies for multiple identicals 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.

RODA, I.; MACCHI, M.; FUMAGALLI, L.; VIVEROS, P. A review of multi-criteria classification of spare parts. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2014. Vol. 25 Iss 4 pp. 528 - 549

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)



RODRIGUEZ, T. F. O. ; RIBEIRO, L. F. A. ; Cavalcante, Cristiano A.V. . Joint optimization of maintenance preventive Piggyback and spare parts policies. In: **9th IMA International Conference on Modelling in Industrial Maintenance and Reliability (MIMAR)**, 2016, London. 9th IMA International Conference on Modelling in Industrial Maintenance and Reliability (MIMAR), 2016.

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

ROY, B. Paradigms and Challenges. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. (Org.) **Multiple Criteria Decisions Analysis: State of art surveys**. Boston: Springer, 2005, p.3-18.

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

SHAFIEE, M. Maintenance strategy selection problem: an MCDM overview. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, 2015. Vol. 21 Iss 4 pp. -

TRIANAPHYLLOU, E.; KOVALERCHUK, B.; MANN, L.; KNAPP, G. M. Determining the most important criteria in maintenance decision making, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, 1997. Vol. 3 Iss 1 pp. 16 - 28

VAN HORENBEEK. A.; BURÉ, J.; CATTRYSSSE, 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.

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.