MODELO MULTICRITÉRIO FLEXÍVEL E INTERATIVO PARA SUBSTITUIR MOTORES NÃO EFICIENTES

Perseu Padre de Macedo
Universidade Federal de Pernambuco
Av. da Arquitetura - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-550
perseupadre@gmail.com

Caroline Maria de Miranda Mota
Universidade Federal de Pernambuco
Av. da Arquitetura - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-550
carol3m@gmail.com

Antonio Vanderley Herrero Sola
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Av. Sete de Setembro, 316 - Rebouças, Curitiba - PR, 80230-9010
sola@utfpr.edu.br

RESUMO

Para auxiliar as indústrias com seus regulamentos de eficiência energética e promover ganhos de energia, através de um estudo de caso, este artigo propõe um modelo multicritéria baseado no procedimento FITradeoff para suportar um problema de substituição do motor, de forma a atender aos padrões mínimos de desempenho energético estabelecidos pela Eficiência Energética Brasileira Direito, priorizando os motores a serem substituídos primeiro. Este modelo interativo requer menos esforço cognitivo do tomador de decisão e evita um processo de decisão tedioso e longo. Além disso, para fornecer um resultado mais robusto, este modelo lida com a imprecisão dos dados através de uma análise de sensibilidade. Após a construção do plano de substituição, foi elaborada uma análise de desempenho energético para avaliar os benefícios da utilização de uma ferramenta de decisão multicritério para lidar com o problema de substituição do motor.

PALAVRAS CHAVE. FITradeoff, Apoio à decisão multicritério, Eficiência energética

FITradeoff (Sessão Especial)

ABSTRACT

To assist industries with their energy efficiency regulations and promote energy gains, through a case study, this paper proposes a multicriteria model based on FITradeoff procedure to support a motor replacement problem, in order to meet the minimum energy performance standards established by the Brazilian Energy Efficiency Law, prioritizing the motors to be replaced first. This interactive model requires less cognitive effort from the decision-maker and avoid a tedious and long decision process. In addition, to provide a more robust result, this model deals with the data inaccuracy through a sensitivity analysis. After building the replacement plan, an energy performance analysis has been drawn up to evaluate the benefits of using a multicriteria decision tool in order to deal with motor replacement problem.

KEYWORDS. FITradeoff, Multicriteria decision aid, Energy efficiency

FITradeoff (Special Session)

1. Introdução

Conforme o Plano Nacional de Energia 2030, o governo brasileiro propôs uma direção estratégica para a expansão do fornecimento energético no país. No entanto, observou-se que os atuais mecanismos de mercado não são suficientes para promover melhoria da eficiência energética. A indústria brasileira consome aproximadamente 40% de toda a energia elétrica nacional, sendo o sistema de motores, representado pelo uso coletivo de motores elétricos em processos de produção, responsável por consumir maior parte dessa eletricidade [EPE 2016].

Com isso, o governo brasileiro editou a Lei nº 10.295 de 2001, conhecida como Lei de Eficiência Energética, para reforçar os programas de energia, estabelecendo padrões mínimos de desempenho energético para as tecnologias de uso de energia. No entanto, considerando a vida útil dos motores (mais de quinze anos), a prática de rebobinamento e reutilização dos motores, as indústrias continuam usando motores não eficientes devido à falta de conscientização sobre eficiência energética e seus benefícios.

Neste contexto, para apoiar essa regulamentação, as indústrias precisam avaliar as implicações financeiras, os aspectos técnicos e impactos ambientais, incentivando a substituição de motores não eficientes por motores que atendam aos níveis mínimos de eficiência definidos pela Lei. Isso permitirá que as indústrias aumentem sua produtividade, consumam menos eletricidade e reduzam a prática do recondicionamento de seus motores, isso promoverá a redução das emissões de gases de efeito estufa e aumentem a economia do Estado, incentivando o desenvolvimento sustentável [Munda 2008].

Assim, como uma ferramenta para o gerenciamento de conflitos, uma avaliação multicritério é útil. Com sua abordagem consistente, promove apoio à tomada de decisão, analisa modelos complexos e permite uma avaliação integrada do problema [de Almeida et al. 2015]. No entanto, o processo decisório pode ser longo e tedioso, como no procedimento tradicional de *tradeoff* [Keeney e Raiffa 1976], tornando inadequado o seu uso na rotina industrial.

Uma das questões mais relevantes no problema de decisão multicritério é a elicitação das constantes de escala para o processo de agregação, como o procedimento tradicional de *tradeoff* e o SWING [Mustajoki 2005]. O procedimento tradicional de *tradeoff* possui uma estrutura axiomática mais robusta, mas tem mostrado algumas inconsistências. Requer um alto esforço cognitivo do analista para encontrar um valor exato para a indiferença entre duas consequências e especialmente em modelos aditivos, existe um problema na definição do peso dos critérios, pois o decisor não compreende o significado de peso e não possui conhecimento ou informações suficientes para defini-lo [de Almeida et al. 2016; Weber and Borcherding 1993].

Com isso, o procedimento *FITradeoff* foi proposto para contornar esses problemas. O *FITradeoff* trabalha com informações parciais do decisor, buscando alternativas potencialmente ótimas dentro de um espaço de pesos, resolvendo problemas de programação linear [de Almeida et al. 2016]. A principal motivação para aplicar o procedimento *FITradeoff* neste trabalho e não os outros é devido à sua robustez, flexibilidade e interatividade. Por meio do *FITradeoff,* é possível obter o resultado com menos informações do que o requerido no procedimento tradicional de *tradeoff*, pois o procedimento não requer necessariamente declarações de indiferença, sendo cognitivamente mais fácil para o decisor durante a modelagem de preferências, evitando uma processo decisório longo e tedioso.

Dessa forma, o processo de substituição de motores refere-se a um problema de decisão. Através de um estudo de caso, envolvendo múltiplos critérios e alternativas, este estudo propõe um modelo de decisão multicritério baseado no procedimento *FITradeoff* para apoiar um problema de substituição de motores em uma indústria química, de forma a atender os padrões mínimos de desempenho energético estabelecidos pela Lei Brasileira de Eficiência Energética, priorizando os motores a serem substituídos primeiro.

2. FITradoff

Mesmo apresentando uma forte fundamentação axiomática, o procedimento tradicional de *tradeoff* apresenta algumas inconsistências na sua aplicação [Weber e Borcherding, 1993]. Uma das principais fontes de inconsistência é a dificuldade, em termos cognitivos, que o decisor encontra para responder com precisão as várias perguntas do procedimento de elicitação de pesos.

Com isso, baseado no procedimento tradicional de *tradeoff*, o *FITradeoff*, procedimento flexível e interativo que apoia a tomada de decisão para problemas multicritério, busca encontrar a alternativa mais preferível em um conjunto de alternativas, por meio da informação parcial do decisor durante o processo de elicitação dos pesos, diminuindo o número de perguntas e a dificuldade delas e consequentemente o esforço cognitivo [de Almeida et al. 2016].

O processo de decisão é baseado em declarações de preferência estrita, tornando a elicitação mais fácil sob o aspecto cognitivo, o que torna o procedimento menos longo e tedioso. O *FITradeoff* explora o espaço de consequências, delimitando um subespaço de pesos, classificando as alternativas como dominadas, potencialmente ótimas e ótimas, auxiliando o decisor na tomada de decisão, conforme Figura 1.

Por meio do sistema de suporte à decisão, o decisor pode acompanhar o processo decisório, sendo possível ordenar as constantes de escala, visualizar as comparações entre as alternativas, responder aos questionamentos ou avaliar as potenciais alternativas ótimas por meio de gráficos. Este trabalho não entrará nos detalhes do *FITradeoff*. Para mais informações sobre o procedimento, o trabalho de [de Almeida et al. 2016] pode ser consultado.



Figura 1: Procedimento FITradeoff

3. Modelo de apoio à decisão para auxiliar um problema de substituição de motores

Esta seção se propõe a construir um modelo multicritério de apoio à decisão baseado no procedimento *FITradeoff* para auxiliar um problema de substituição de motores em uma indústria. Com seus motores atuais, esta indústria consome uma quantidade considerável de energia e tem dificuldade em atender os padrões mínimos de desempenho energético, estabelecidos pela Lei de Eficiência Energética Brasileira.

Entretanto, Para modelar de forma flexível e interativa o problema de priorização dos motores a serem substituídos, consideramos o nível de conhecimento do problema, informação disponível e interesse organizacional. Também foram observados os princípios de ampla participação dos setores da indústria, comprometimento, multidisciplinaridade e precisão das informações. Para reduzir o esforço cognitivo do decisor, tempo despendido, inconsistências e prover um resultado mais robusto, utilizando o procedimento do *FITradeoff*, o modelo é capaz de

usar informação parcial do decisor, não sendo necessário identificar o ponto exato de indiferença entre duas consequências. O modelo proposto encontra-se na Figura 2, a seguir.

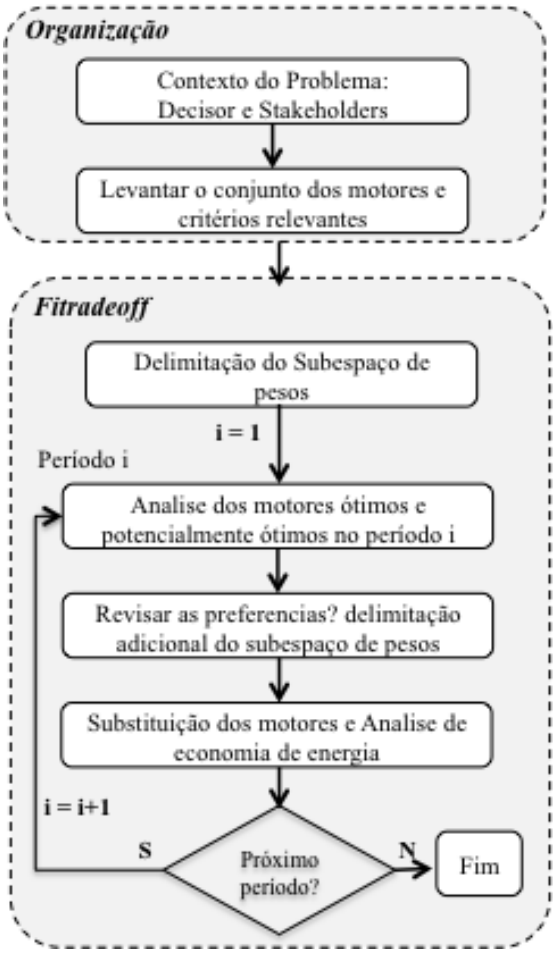


Figura 2: Modelo multicritério para o problema de substituição de motores

3.1. Fase 1 – Organização do problema

Neste problema o decisor é o diretor industrial e os stakeholders são os gerentes de produção e manutenção, além do gestor do departamento financeiro. Por causa dos seus conhecimentos específicos, os stakeholders atuam como especialistas que auxiliam na definição das alternativas e na escolha dos critérios.

Baseado nas informações providas pelos stakeholders, o decisor definiu vinte alternativas, correspondentes a motores com quatro polos e potência igual ou maior a cinco cavalos (cv), usados no processo produtivo que não atendem aos padrões mínimos estabelecidos pela lei. Porém, devido a restrições orçamentárias e o planejamento estratégico da indústria, não é possível substituir todos os motores imediatamente. Com isso, a indústria planeja substituir 25% dos seus motores, ou seja, cinco motores.

Para uma priorização adequada dos motores não eficientes, fatores técnicos, financeiros e ambientais devem ser analisados para garantir a eficiência energética. No entanto, devido à falta de informações e um sistema de gerenciamento energético, foi difícil identificar apenas atributos naturais (diretos) para a avaliação. Com isso, para mensurar o impacto de alguns critérios, foram usados atributos construídos e algumas estimativas [Keeney 1992]. Com isso, conforme Tabela 1, os seguintes critérios foram escolhidos.

Tabela 1
Descrição dos critérios

Critério	Descrição
Anos em uso	Reflete o tempo de funcionamento do motor. A manutenção preventiva pode estender o tempo de vida útil do motor, porém há perda de eficiência. Com isso, motores mais antigos devem ser priorizados para substituição. Informações obtidas com o setor de manutenção.
Rebobinamentos (un.)	Indica quantas vezes o motor sofreu o processo de rebobinamento devido a processos de queima, normalmente por causa de superaquecimento. Esse processo reduz a eficiência do motor. Informações obtidas com o setor de manutenção.
Falhas (un./ano)	Indica o número de problemas apresentados pelo motor que promoveram paradas nas máquinas, atrasando o processo produtivo. Informações obtidas com o setor de manutenção.
Importância para a produção	É definido por meio de uma escala de 0 (menos importante) à 10 (mais importante), para os motores localizados em partes críticas do processo produtivo. Informações obtidas com o setor de produção.
Potência (cv)	Reflete a força atual do motor. 1 cv = 0,746 kilowatts (kW). Quanto maior a potência, maior a quantidade de energia economizada com a substituição do motor em uso por um mais eficiente. Por meio desse critério é possível estimar a redução na emissão de dióxido de carbono (CO_2) no meio ambiente. Informações estimadas com o setor de manutenção
Carregamento ($\%$)	Indica a perda de eficiência. Considera a corrente elétrica atual, a corrente elétrica nominal e a corrente elétrica no vácuo. Quando o motor funciona com uma potência maior que o necessário para executar uma tarefa, apresenta um baixo carregamento, o que implica em perda de energia. Por meio desse critério é possível estimar a redução na emissão de dióxido de carbono (CO_2) no meio ambiente. Informações estimadas com o setor de manutenção
Valor Presente Liquido - VPL (R$)	Indica a diferença entre o valor presente das entradas de caixa e o valor presente das saídas de caixa. Informações estimadas com o setor financeiro.

A partir dessas informações, o desempenho de cada motor foi obtido com respeito aos critérios elencados. Com exceção do critério Carregamento, o objetivo dos demais critérios é de maximização, ou seja, quanto maior for seu desempenhado, deve-se priorizar sua substituição. Com isso, A matriz de consequências do problema foi construída, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2
Matriz de consequências para o problema de substituição dos motores

Critério/ Alternativa	Anos em uso	Rebobinamentos	Falhas	Importância para a produção	Carregamento	Potência	VPL
	Max	Max	Max	Max	Min	Max	Max
Motor 1	5	2	1	5	22	10	4.350
Motor 2	5	1	0,5	5	79	15	6.872
Motor 3	2	0	0	10	17	12,5	1.037
Motor 4	2	0	0	10	20	12,5	1.556
Motor 5	2	0	0	10	84	50	8.381
Motor 6	40	5	1	10	35	7,5	2.647
Motor 7	5	0	0	5	83	20	5.779
Motor 8	4	0	0	8	98	10	418
Motor 9	7	1	0,5	7	20	5	1.581
Motor 10	10	1	0,5	9	24	7,5	3.683
Motor 11	1	0	0	10	30	12,5	2.582
Motor 12	1	0	0	10	17	10	3.723
Motor 13	1	0	0	10	50	30	4.876
Motor 14	4	2	1	10	104	40	11.785
Motor 15	7	2	1	8	32	10	3.246
Motor 16	1	2	1	5	72	7,5	3.077
Motor 17	10	0	0	9	69	7,5	1.961
Motor 18	7	0	0	8	76	7,5	833
Motor 19	8	0	0	7	21	10	1.927
Motor 20	7	1	1	7	42	5	2.324

3.2. Fase 2 – Aplicação do procedimento FITradeoff

Para conduzir a segunda fase do modelo proposto, consideramos o procedimento *FITradeoff*, por apresentar meios de lidar com algumas inconsistências e complexidades observadas no método tradicional de tradeoff [de Almeida et al., 2016]. Com o apoio de um sistema de apoio à decisão, o decisor avaliou o grau de importância dos critérios e os ordenou de acordo com suas preferências. A ordenação obtida foi: $k_{Carregamento} > k_{Anos\ em\ uso} > k_{IP} > k_{Rebobinamentos} > k_{Potencia} > k_{VPL} > k_{falhas}$.

Seguindo a heurística do *FITradeoff*, a elicitação de preferências foi conduzida para auxiliar a avaliação do espaço de pesos para priorizar as alternativas a serem substituídas. O sistema de apoio à decisão utilizado nesta aplicação está disponível para uso no através do endereço http://fitradeoff.org.

Com esta etapa de ordenação, para o Período 1, das vinte alternativas do problema, restaram três alternativas não-dominadas (Motores 3, 6 e 12). Após dois ciclos de comparações, o resultado encontrado recomenda priorizar a substituição do Motor 6. Ao contrário dos métodos tradicionais de *tradeoff* que obtêm valores exatos para as constantes de escala, o *FITradeoff* obtém um conjunto de vetores viáveis de pesos, ou espaço de pesos, para encontrar as alternativas potencialmente ótimas do problema.

Com isso, a próxima etapa desse modelo se propõe a refinar a priorização obtida para prover um resultado mais robusto, avaliando a imprecisão das informações do problema. Respeitando a ordem das constantes de escala, para avaliar a imprecisão associada ao critério Valor Presente Líquido, o espaço de consequências deste critério foi variado de 5% a 15%, devido às condições de inflação. Por exemplo, para uma variação de 15% neste critério, o valor da consequência de cada alternativa *j* do problema tem um valor $S_{j,VPL}$ tal que $(\rho_{j,VPL}) \cdot (0.85) \leq S_{j,VPL} \leq (\rho_{j,VPL}) \cdot (1.15)$, onde $\rho_{j,VPL}$ corresponde ao valor nominal (valor original da matriz de consequência). No entanto, não houve mudança significativa na alternativa priorizada para substituição. O procedimento *FITradeoff* mostrou-se efetivo, provendo um resultado robusto.

Assim, realizando a substituição do Motor 6 por meio de um investimento de R$1.580,00, haverá um ganho de 9% na eficiência do motor, economizando 2.069,0 kWh/ano, reduzindo a emissão 1.510,4 Kg de CO_2 por ano.

Com o fim do primeiro ciclo do modelo (i=1), ainda há a necessidade de identificar os outros motores a serem priorizados para substituição. Dessa forma, dado o caráter dinâmico do modelo, retirando a alternativa priorizada do conjunto de alternativas e revisando as preferências do decisor (check de consistência), o procedimento foi refeito consecutivamente com as alternativas restantes até que mais quatro alternativas fossem priorizadas, conforme Figura 1. As alternativas priorizadas foram: Motor 10; Motor 15; Motor 9 e Motor 3.

No entanto, ao realizar um novo ciclo da análise de sensibilidade para avaliar a imprecisão associada ao critério Carregamento, houve a inserção do Motor 19 no lugar do Motor 3 e durante a análise do *FITradeoff*, os Motores 4 e 14 foram incluídos no conjunto de alternativas potencialmente ótimas, como visto na Figura 3 a seguir.

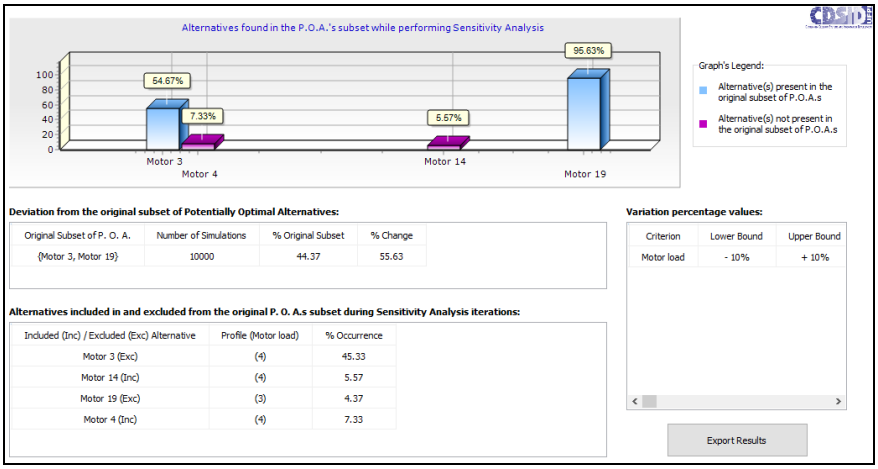


Figura 3: Análise de sensibilidade – critério "Carregamento"

Com isso, respeitando as restrições impostas pelo decisor em substituir inicialmente os cinco primeiros motores do conjunto de alternativas, a substituição desses motores custará aproximadamente R$8.000. Após instalação dos novos motores e o retorno que estes trouxerem, os demais motores serão substituídos até adequação de todos à Lei de Eficiência Energética Brasileira, para isso, o modelo pode ser aplicado novamente.

4. Discussão dos resultados

Analisando o resultado obtido, observa-se que a primeira alternativa priorizada para substituição (Motor 6) não é a que apresenta maior perda energética, o que confirma a afirmação de que selecionar um motor baseado apenas no critério "Carregamento" pode não representar a melhor solução para o plano de substituição. Os Motores 3 e 12 são os menos eficientes energeticamente, mas quando comparados entre si, o Motor 3 apresenta maior tempo de uso e potência, critérios melhor avaliados em detrimento do VPL, priorizando sua escolha. Dessa forma, esse resultado evidencia a importância em considerar o apoio à tomada de decisão multicritério em lidar com problemas de substituição de motores.

Explorando a média das consequências dos critérios (Tabela 3), podemos observar a importância da ordenação das constantes de escala no processo decisório. Por apresentarem baixos percentuais de carregamento, a substituição dos cinco motores priorizados, promoverá maior ganho em eficiência energética, ao adequar a potência para executar suas tarefas corretamente. Apenas estes seis motores, apresentam uma média de 13,2 anos de uso, com uma importância relativa para produção de 8,8, evidenciando a necessidade de substituição.

Tabela 3
Priorização das alternativas a serem substituídas

Critério/ Alternativas	Carregamento (%)	Anos em uso (un.)	Importância para a produção [0-10]	Rebob. (un.)	Potência (cv)	VPL (R$)	Falhas (un.)
M. Priorizados	25,6	13,2	8,8	1,8	8,5	2.438,8	0,6
M. Não Priorizados	57,8	4,2	7,9	0,5	16,5	4.029,6	0,3

Caso as constantes de escala fossem ordenadas de outra forma, desconsiderando as preferências do decisor, a priorização das alternativas aconteceria de outra forma, influenciando a construção do plano de substituição. A substituição inadequada pode acarretar perdas de níveis técnicos, ambientais e financeiros, não atendendo aos objetivos estabelecidos pela indústria corretamente, adiando a adequação de seus motores à Lei de Eficiência Energética.

Analisando o desempenho energético, ao comparar os motores atuais a serem substituídos com os motores novos, conforme dados fornecidos pelo fornecedor, a substituição

desses seis motores trará em média a indústria um ganho de 11,8% em eficiência energética, economizando 9.893,2 kWh/ano e reduzindo 7.222Kg de CO_2/ano. O investimento terá um retorno previsto em 1,6 anos, conforme apresentado na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4
Priorização das alternativas a serem substituídas

Critério/ Alternativa	Ganho em eficiência (%)	Energia economizada (kWh/ano)	Investimento (R$)	Payback simples (anos)	Redução de CO_2 no meio ambiente (Kg de CO_2/ano)
Motor 6	9,0	2.069,0	1.580,0	1,4	1.510,4
Motor 10	15,0	2.551,2	1.530,0	1,1	1.862,4
Motor 15	9,0	2.464,7	1.790,0	1,3	1.799,3
Motor 9	14,0	1.370,6	1.220,0	1,6	1.000,6
Motor 3	8,0	1.437,6	1.900,0	2,4	1.049,4

Após aplicar o teste de distância de Cook e dos índices de medidas DFFITS, para ajudar a identificar os dados influentes, observou-se uma correlação forte (r = 0,807) entre a Energia Economizada e o Investimento. Quanto maior a potência do motor, maior o investimento necessário e maior a quantidade de energia economizada com a substituição do motor em uso por um mais eficiente.

Quanto a aplicabilidade do modelo proposto, o *FITradeoff* não requer muito esforço do decisor para encontrar uma solução. Quando o decisor for indiferente entre algumas consequências, ao contrário do procedimento tradicional de *tradeoff*, o decisor não precisa informar um ponto exato de indiferença dado a flexibilidade do método. Caso o procedimento tradicional fosse aplicado para solucionar este problema, pelo menos seis declarações de indiferença seriam obrigatórias para encontrar uma solução (número de critérios – 1) [Frej et al. 2017].

Com isso, conforme a tipologia das alternativas e da distribuição dos pesos dos critérios, para vinte alternativas e sete critérios, poucas comparações entre as consequências dos critérios foram necessárias. O sistema de suporte a decisão apoiou o processo decisório, reduzindo o esforço cognitivo do decisor em não responder alguns questionamentos durante a escolha das alternativas a serem priorizadas, permitindo que ele pudesse avaliar os gráficos gerados pelo sistema, optando por aquela que melhor atendesse suas preferências. Por fim, para as indústrias que procuram reduzir o esforço e tempo despendido no processo decisório, o modelo proposto mostra-se como uma boa ferramenta de suporte para problemas multicritério.

5. Conclusões

Devido as políticas e tendências atuais sobre a eficiência energética, é importante encontrar ferramentas capazes de auxiliar o processo decisório, a fim de obedecer as leis e promover ganhos de energia. Neste contexto, esse artigo apresentou um modelo de decisão multicritério baseado no *FITradeoff* para resolver um problema de substituição de motores em uma indústria química, a fim de atender aos padrões mínimos de desempenho energético estabelecidos pela Lei de Eficiência Energética brasileira, priorizando os motores a serem substituídos primeiro.

Baseado na análise multicritério, considerando sete critérios para avaliar vinte alternativas, o Motor 6 foi a alternativa preferível para substituição imediata, seguida pelos Motores 10, 15, 9 e 3. Estas alternativas obtiveram melhores resultados para os sete critérios avaliados, conforme ordenação das constantes de escala, apresentando desempenhos mais atrativos para os critérios “Carregamento”, “Anos em uso” e “Importância para a Produção”.

Caso os critérios levantados não fossem considerados e os motores fossem priorizados apenas sob a perspectiva financeira, a substituição dos motores seria menos atrativa energeticamente, haveria menor redução na emissão de CO_2 no meio ambiente. A permanência de motores com menor carregamento e tempo de uso continuaria a trazer prejuízos para a indústria,

além de desconsiderar a localização estratégica desses motores no processo produtivo.

Através do sistema de apoio à decisão, foi possível obter o resultado com menos informações do que o requerido no procedimento tradicional de *tradeoff*, não exigindo declarações de indiferença, sendo cognitivamente mais fácil modelar as preferências, evitando um processo decisório longo e tedioso.

Assim, para contornar as limitações desse problema, como a ausência de um sistema de gerenciamento energético, que dificultou a obtenção de algumas informações referentes ao problema, restringido a escolha dos critérios, algumas oportunidades podem ser exploradas para promover a eficiência energética, economia de energia e redução de emissões de gases prejudiciais ao meio ambiente, por meio da disseminação do modelo proposto para futuras tomadas de decisão, adoção de políticas sustentáveis e implementação de novas técnicas de produção. Para trabalhos futuros, além do sistema de motores, este modelo pode ser aplicado para outros cenários.

Referências

de Almeida, A. T., Almeida, J. A. De, Paula, A., Seixas, C. e Almeida-filho, A. T. De. (2016). A new method for elicitation of criteria weights in additive models : Flexible and interactive tradeoff. *European Journal of Operational Research*, *250*(1), 179–191.

de Almeida, A. T., Cavalcante, C. A. V., Alencar, M. H., Ferreira, R. J. P., de Almeida-Filho, A. T. e Garcez, T. V. (2015). *Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis*. *International Series in Operations Research and Management Science* (Vol. 231).

EPE. (2016). *EPE - Empresa de Pesquisa Energética (Brazil). Brazilian Energy Balance 2016 Year 2015*. Rio de Janeiro. Retrieved from http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA 13-14 Demanda de Energia 2050.pdf

Frej, E. A., Reis, L., Roselli, P., Almeida, J. A. De, e Almeida, A. T. De. (2017). A Multicriteria Decision Model for Supplier Selection in a Food Industry Based on FITradeoff Method. *Hindawi Mathematical Problems in Engineering*, *2017*.

J. Mustajoki, R. P. H. (2005). Decision support by interval SMART/SWING - incorporating imprecision in the SMART and SWING methods. *Decision Sciences*, *36*(2), 317–339.

Keeney, R.L. e Raiffa, H. (1976). *Decision making with multiple objectives, preferences, and value tradeoffs*. New York: Wiley.

Keeney, R. L. (1992). *Value-focused thinking: A Path to Creative Decisionmaking*. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*.

Munda, G. (2008). *Social multi-criteria evaluation for a sustainable economy*.

Weber, M. e Borcherding, K. (1993). Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. *European Journal of Operational Research*, *67*, 1–12.