MODELO MULTICRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DO GLP COMO COMBUSTÍVEL DE TRANSIÇÃO

Gabriel Ensinas Valiño Pedreira
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Cidade Universitária, S/N, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil
gabriel.ensinas@gmail.com

Marcio Luiz Magri Kimpara
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Cidade Universitária, S/N, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil
marcio.kimpara@ufms.br

João Batista Sarmento dos Santos Neto
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Cidade Universitária, S/N, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil
joao.sarmento@ufms.br

Carolina Lino Martins
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Cidade Universitária, S/N, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil
carol_tcch@hotmail.com

RESUMO

O uso do gás liquefeito de petróleo (GLP) está em ascensão de acordo com mudanças legislativas a respeito do seu uso, sendo considerado um combustível de transição, o que aumenta a demanda por projetos que estudem a viabilidade da sua aplicação comparado à outras fontes energéticas. Este trabalho, portanto, propõe um modelo de decisão multicritério para avaliar o potencial uso do GLP em grupos geradores de energia e comparar sua aplicação com outros combustíveis. Para tanto, utilizou-se do método FITradeoff, que demonstrou ser uma ferramenta eficaz para resolver uma variedade de problemas de decisão e menos exaustivo para o(s) decisor(es). Por fim, seguindo as preferências do decisor, o GLP mostrou-se o primeiro do ranking de combustível para grupo geradores, seguido do Diesel e Gás Natural, respectivamente. Após a conclusão da análise de sensibilidade, foi possível validar a saída do modelo com o decisor.

PALAVRAS CHAVE. GLP, MCDM/A, FITradeoff.
ADM – Apoio à Decisão Multicritério; EN&PG – PO na Área de Energia, Petróleo e Gás

ABSTRACT

The use of liquefied petroleum gas (LPG) is on the rise according to legislative changes regarding its use, being considered a transition fuel, which increases the demand for projects that study the feasibility of its application compared to other energy sources. This work, therefore, proposes a multi-criteria decision model to assess the potential use of LPG in power generators and compare its application with other fuels. For that, the FITradeoff method was used, which proved to be an effective tool to solve a variety of decision problems and less less exhausting for the decision maker(s). Finally, following the preferences of the decision maker, LPG proved to be the first in the ranking of fuel for generators, followed by Diesel and Natural Gas, respectively. After completing the sensitivity analysis, it was possible to validate the model output with the decision maker.

KEYWORDS. First keyword. Second keyword. Last keyword.
ADM – Multicriteria Decision Aid; EN&PG – OR in Energy, Petroleum and Gas Area

1. Introdução

O gás liquefeito de petróleo (GLP) é uma mistura de gases dissolvidos no petróleo, sendo basicamente composto por propano e butano. É amplamente utilizado em todo o mundo como combustível alternativo, com uma grande variedade de aplicações. Suas principais vantagens, segundo autores [Watson e Gowdie 2000], vêm da baixa emissão de poluentes quando em combustão, chegando a uma redução de CO2 de 7% a 10% ou mais em relação à gasolina.

No Brasil, em 8 de fevereiro de 1991, o Congresso Nacional aprovou a Lei 8.176, que restringiu a comercialização e uso do GLP, sendo proibido seu uso em motores de qualquer tipo e outras aplicações industriais [Brasil 1991]. Com o tempo, a lei se manteve e o GLP continuou com sua aplicação restrita ao gás de cozinha e sua produção e comercialização monopolizada por poucas empresas, o que acabou aumentando seu custo. No entanto, desde 2019, está pendente um projeto de lei que busca revogar as restrições impostas ao GLP e trazer de volta a liberdade das vastas aplicações que possui e abrir o mercado a novas empresas.

Este fato abriria a possibilidade de fabricação de novos produtos que utilizem o GLP como combustível, como um secador de sementes que [Saha et al. 2020] utilizou como base de estudo comprovando a viabilidade técnica e financeira e o aumento da qualidade da moagem ao utilizar o GLP como energia fonte; além disso, um gerador baseado em GLP controlado por uma unidade de controle eletrônico (ECU) que foi projetada por [Adiyasa et al. 2018] e mostrou bons resultados para geração.

Nesse contexto, são fundamentais estudos que comparem a eficiência da aplicação de GLP no Brasil com outras fontes de energia enquanto combustível de transição, como gasolina, diesel, etanol e biodiesel. Assim, torna-se relevante a utilização de metodologias que apoiem empresas e interessados na decisão de utilizar ou não o GLP, levando em consideração uma série de fatores. Nesse contexto, destacam-se os modelos de decisão multicritério (MCDM), que são utilizados onde há dificuldade em representar todos os objetivos conflitantes de uma decisão, trazendo a possibilidade de analisar seu uso, ponderando suas vantagens e desvantagens em comparação com os critérios, considerando o grau de importância para eles [de Almeida 2013].

Portanto, este estudo busca avaliar o GLP como combustível de transição com outras fontes de energia, por meio de um método multicritério de apoio à decisão. Para tanto, será feita uma análise utilizando o procedimento flexível e interativo *FITradeoff* (*Flexible and Interactive Tradeoff method*) para problemática de ordenação, que utiliza informações parciais das preferências do decisor [de Almeida et al. 2016]. O método foi escolhido por se tratar de um problema com racionalidade compensatória, por ser simples e intuitivo de aplicar, além de sua flexibilidade e robustez.

Além disso, o trabalho busca avaliar combustíveis para grupos geradores de energia elétrica, uma vez que essa poderia ser uma das novas aplicações possíveis no Brasil, comparando o GLP à outras fontes alternativas disponíveis, contando com um decisor especialista da área para guiar o estudo.

2. Avaliação de Combustíveis usando modelos multicritério

Para avaliar a sustentabilidade de quatro combustíveis alternativos de aviação, incluindo refino de petróleo (A1), síntese de Fischer-Tropsch à base de gás natural (A2), combustível à base de algas (A3) e combustível à base de soja (A4), o estudo conduzido por [Chen e Ren 2018] desenvolveu um modelo de avaliação de sustentabilidade multicritério. A metodologia deste estudo foi validada comparando os resultados do método proposto com o *fuzzy* TOPSIS, e os resultados foram confirmados por um processo de tomada de decisão multicritério baseado em programação que utilizou parcialmente dados reais para classificar os quatro combustíveis de aviação para sustentabilidade. Os resultados mostram que o método sugerido é eficaz na classificação de diferentes combustíveis de aviação para a sustentabilidade.

No artigo [Ullah et al. 2018], os autores tiveram como objetivo a escolha do combustível mais favorável para o setor de transporte rodoviário do Paquistão, uma vez que o país tem vários combustíveis gasosos disponíveis para o setor de transporte rodoviário com diferentes níveis de importância econômica, ambiental e social. Para isso, os autores avaliaram as três alternativas gasosas – gás natural comprimido, gás liquefeito de petróleo e gás natural liquefeito – usando um método de análise de decisão multicritério baseado no processo de hierarquia analítica. De acordo com os resultados, o gás natural comprimido é a melhor opção de combustível para a indústria de transporte rodoviário do Paquistão. Os resultados do modelo de decisão sugerido se mostraram cruciais para o desenvolvimento de uma política sobre o uso de vários combustíveis no setor de transporte do Paquistão, além de classificar e priorizar três tecnologias de combustível.

Carros de combustível alternativo oferecem chances de reduzir os custos de combustível e o impacto ambiental nos Estados Unidos da América (EUA). Para tanto, foi realizado um estudo pelos autores [Oztaysi et al. 2017] a fim de solucionar a questão de uma empresa do funcionalismo público nos EUA, escolhendo a tecnologia de combustível alternativo que melhor encaixaria com as preferências da empresa. De acordo com o método de tomada de decisão multicritério (MCDM) do artigo, que é baseado em conjuntos *fuzzy* intuicionistas de valor de intervalo (IVIFS) e dados linguísticos, o carro a gás natural de alcance estendido é o mais adequado para a empresa de serviços públicos, e com isso, o método se mostrou eficaz e confiável na resolução do problema.

Os autores [Büyüközkan et al. 2018] argumentam que a rápida expansão dos veículos automotores e o desenfreado desenvolvimento urbano inevitavelmente resultam na criação de sistemas de transporte economicamente, social e ambientalmente insustentáveis, colocando em risco não apenas a saúde pública, mas também sobrecarregando ecossistemas.

No intuito de avaliar várias tecnologias de ônibus públicos como alternativas a outras formas de transporte urbano, os autores desenvolveram um modelo de decisão multicritério. O(s) combustível(s) que esses ônibus usarão levou à divisão dessas tecnologias. Oito tecnologias diferentes foram avaliadas no total, incluindo: (1) o motor diesel; (2) gás natural comprimido (GNV); (3) gás liquefeito de petróleo (GLP); (4) álcool metílico; (5) HYD (baterias que funcionam com hidrogênio e oxigênio); (6) o ônibus elétrico com baterias intercambiáveis; (7) o híbrido de eletricidade e diesel (HED); e (8) o híbrido de eletricidade com gás natural comprimido (HEC). Para tanto, é proposto um método de agregação baseado nas abordagens *Group Decision Making* (GDM) e *Intuitionistic Fuzzy Choquet Integral* (IFCI). Para definir os parâmetros do IFCI, é empregada uma técnica de identificação de medidas por comparação fuzzy *pairwise*. Outra abordagem multicritério que desconsidera interações é a TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), bem como a integral de Choquet 2-aditiva. São feitas comparações entre os resultados do IFCI, integral de Choquet de 2 aditivos e TOPSIS. O estudo de caso avalia o problema em questão em relação a vários critérios e sugere a adoção de combustíveis GNV, HEC e GLP para ônibus urbanos de Istambul.

Apesar de haverem estudos na literatura sobre avaliação de combustíveis utilizando modelos multicritério, ainda é preciso ir além no que diz respeito sobre análises envolvendo o uso do GLP e suas aplicações, uma vez que no Brasil seu uso ainda é limitado.

2.2. Método FITradeoff

A abordagem tradicional de *tradeoff* é a base do método *FITradeoff* [Keeney e Raiffa, 1979]. No entanto, essa abordagem faz uso das ideias de informações parciais e não precisa que os tomadores de decisão (DMs) declarem integralmente seus pontos de vista. Em contraste com o *tradeoff* clássico, a técnica *FITradeoff* não pede ao DM que especifique as relações de indiferença entre as consequências. O método de elicitação flexível sugerido pelo *FITradeoff* tenta elicitar as preferências do DM obtendo os valores das constantes de escala a partir de informações parciais.

Atualmente, ele possui resoluções para problemáticas de escolha, ordenação, classificação e portfólio.

No caso da problemática de ordenação, conforme demonstrado nas equações subsequentes, o método utiliza Problemas de Programação Linear para definição das constantes de escala e relações de dominância das alternativas [Frej et al. 2019].

$$Max\ D(A_j, A_k) = \sum_{i=1}^{n} k_i v_i(A_j) - \sum_{i=1}^{n} k_i v_i(A_k) \quad (1)$$

s.a.:

$$k_1 > k_2 > \cdots > k_n \quad (2)$$

$$k_i v_i(x_i') > k_{i+1} \quad i = 1\ a\ n - 1 \quad (3)$$

$$k_i v_i(x_i'') < k_{i+1} \quad i = 1\ a\ n - 1 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{n} k_i = 1 \quad (5)$$

$$k_i \geq 0\ ,\ i = 1, 2, 3, ..., n \quad (6)$$

Em que, de acordo com Frej et. al [2019], (1) é a maximização do valor global ($k_i v_i\,(A)$) da diferença entre cada par de alternativas (A_j *e* A_k); (2) é a ordenação das constantes de escala dos critérios (k_i); (3) e (4) representam os limites superiores e inferiores das constantes de escala dos critérios; (5) a normalização das constantes de escala; e, ainda, (6) a não-negatividade das constantes.

A capacidade do método *FITradeOff* de evitar que o tomador de decisão precise fazer mudanças pela indiferença entre duas consequências é um componente chave do processo de elicitação, o que otimiza o processo de decisão [de Almeida et al. 2016].

3. Metodologia

Seguindo a proposta de [de Almeida 2013] para estruturação de um modelo multicritério, foi esboçado um fluxograma (Figura 1) da metodologia para avaliar o potencial do GLP em comparação a outras fontes de energia, contendo os passos que deverão ser seguidos para o planejamento, execução e implementação da metodologia proposta para este projeto. O esquema seguirá 3 fases de execução: fase preliminar; desenho e escolha do método; e finalização.

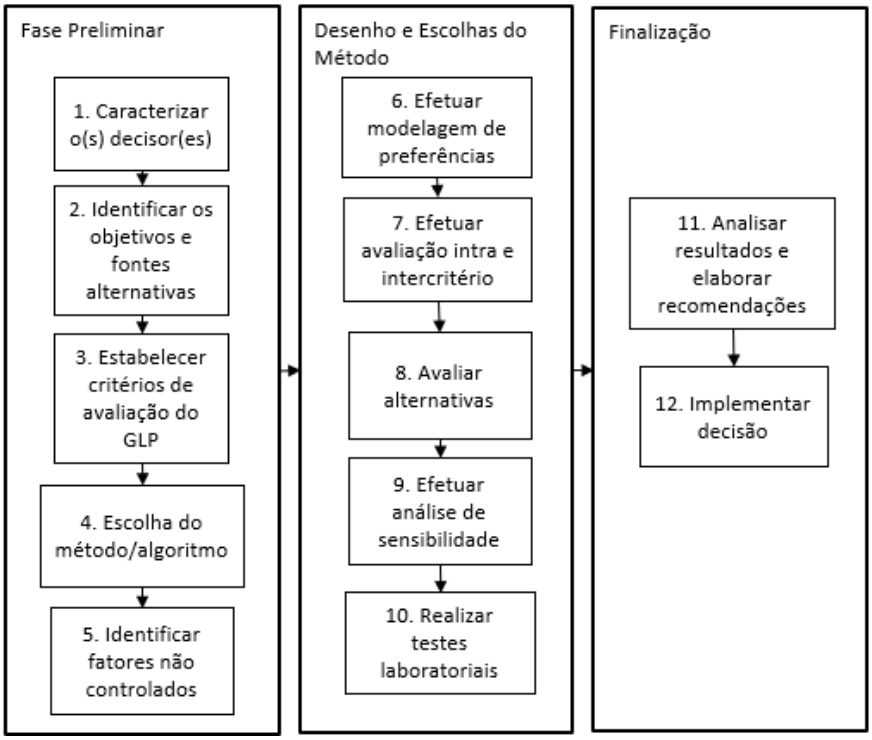


Figura 1 – Diagrama da Pesquisa.
Fonte – Adaptado de Almeida 2013.

Na Fase Preliminar, pode destacar-se a escolha do decisor, que foi um gestor de uma empresa do setor de GLP, que também auxiliou o processo de identificação dos objetivos e quais fontes alternativas foram comparadas. Ainda, na Fase Preliminar, foi feita uma revisão bibliográfica necessária para escolha dos critérios de avaliação dos combustíveis e a escolha do método/algoritmo utilizado para resolução do problema objetivo.

Já no Desenho e Escolhas do Método, foi feita uma modelagem do problema, juntamente dos critérios pré-estabelecidos e então a realização das simulações e avaliações. Vale ressaltar que as simulações do método escolhido foram feitas no software do *FITradeoff*. Ao fim da segunda fase, foi feito um teste para validar a sugestão feita pelo método.

A última fase, se resume às análises dos resultados das simulações e testes laboratoriais, bem como, a formulação de recomendações para análise do modelo utilizado e, por fim, a implementação da decisão gerada pelo modelo.

Os resultados levantados irão auxiliar o decisor (gestor de uma empresa do setor de GLP) a tomar suas decisões em relação à comparação do GLP com outros combustíveis para geração de energia elétrica.

4. Resultados

Seguindo os passos descritos na metodologia, após a caracterização do decisor, parte-se para a análise de suas preferências, a fim de se decidir a respeito de quais alternativas e critérios seriam necessários para que se possa haver a avaliação dos combustíveis de grupos geradores de energia, de acordo com as preferências dele. As alternativas escolhidas pelo decisor para análise do problema, foram: o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), o Diesel e o Gás Natural (GN). Tendo as alternativas escolhidas, foi-se discutido quais seriam os critérios necessários para análise. No que diz respeito aos critérios, foram selecionados:

(1) Consumo (L/h – litros por hora): Consumo para um gerador de 15KW de uma marca conhecida pelo decisor, cujas especificações são catalogadas pela marca (incluindo o consumo) e poderiam ser encontradas para todas as alternativas de combustível listadas;
(2) Emissão de CO2 ($tonCO_{2e}$/GWh): Quantidade em toneladas de CO_2 emitidas por quantidade de energia gasta pelo combustível;
(3) Preço (R$/L – reais por litro): Preço pago por unidade de consumo de cada combustível, com base na média anual (2021). É importante ressaltar que a unidade de medida do GLP e GN não são em litros, portanto, foi feito uma conversão das unidades para que todas fossem em iguais.
(4) Poder Calorífico (KWh): O poder calorífico de um combustível indica a quantidade de energia desenvolvida pelo combustível por unidade de massa, quando ele é queimado. Nesta ocasião, o poder calorífico foi convertido de MJ/Kg para KWh;
(5) Facilidade de Locomoção: Critério que avalia a facilidade de se locomover com o combustível, seja para repor quando necessário e para abastecer o equipamento em outra localidade. Para este foi utilizada uma escala Likert de 1 a 5, onde: 1 - Muito Difícil/ 2 - Difícil/ 3 - Moderado / 4 - Fácil/ 5 - Muito Fácil;
(6) Segurança: Critério que avalia a segurança do combustível em caso de vazamento ou riscos potenciais de acidente. Para este foi utilizada uma escala Likert de 1 a 5, onde: 1 - Muito Perigoso / 2 - Perigoso/ 3 - Moderado / 4 - Seguro / 5 - Muito Seguro.

Definidos os critérios e as alternativas, o próximo passo consiste na construção da matriz de consequências do *FITradeoff*. A Tabela 1 mostra o resultado da Matriz de consequências:

Tabela 1 – Matriz de Consequências

		Alternativas		
Critérios	Objetivo	GLP	Diesel	GN
Consumo	Minimização	5,62	5,6	3.600
Poder Calorífico	Maximização	13,47	12,22	13,47
Preço	Minimização	3,829	4,562	0,003795
Emissão de CO2	Minimização	130	733	499
Segurança	Maximização	4	5	5
Facilidade de Locomoção	Maximização	5	4	1

Como mencionado anteriormente, o *FITradeoff* executa um modelo de problema de programação linear para determinar as relações entre as opções viáveis. A Tabela 2, mostra a ordenação do decisor em relação aos critérios escolhidos.

Tabela 2 – Ordenação dos Critérios

Ordem	Critérios
1	C1- Consumo
2	C2 -Preço
3	C3 – Emissão de CO2
4	C4 – Segurança
5	C5 - Facilidade de Locomoção

6	C6 - Poder Calorífico

Passando para a elicitação flexível, o decisor respondeu às comparações, nas quais são demonstradas duas consequências. Essa informação permite ao Sistema de Apoio a Decisão (SAD) formular as restrições do modelo de problema de programação linear. As perguntas são feitas mostrando dois gráficos de barras para o decisor, tornando a questão mais compreensível, conforme Figura 2.

O decisor é inicialmente apresentado a duas consequências. A resposta a esta consulta especificará o tipo de distribuição das constantes de escala, que pode ser sensivelmente diferente ou aproximadamente igual [de Almeida et al. 2016]. A Figura 2 compara a consequência ótima do critério Consumo com uma consequência intermediária do critério Poder Calorífico (Consequência A) (Consequência B).

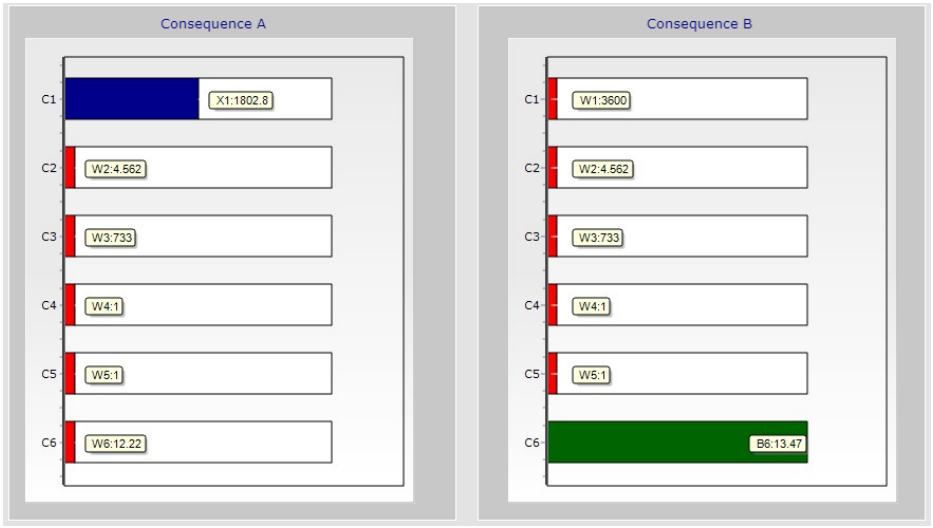


Figura 2 – Elicitação Flexível

Após responder 7 perguntas, o modelo apresentou a ordenação com 3 níveis conforme ilustrado pelo diagrama de Hasse da Figura 3.

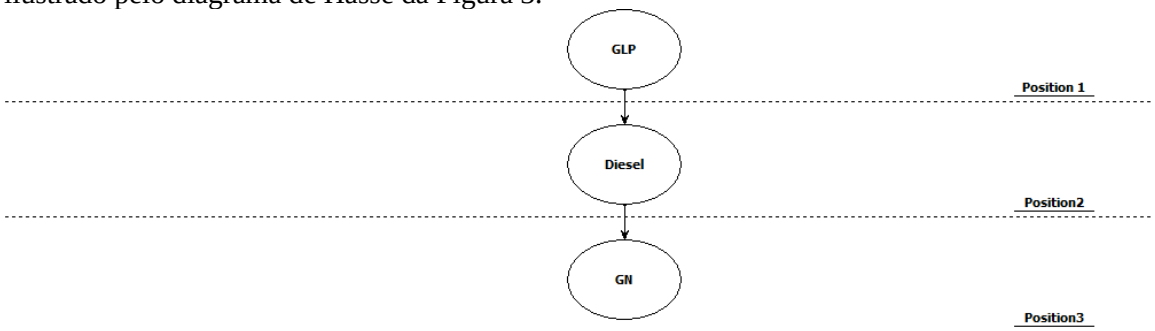


Figura 3 – Diagrama de Hasse

Com o objetivo de interpretar o resultado em relação às constantes de escala do modelo, o *FITradeoff* fornece adicionalmente um recurso gráfico. Isso é feito examinando o intervalo de valores que as constantes de escala de cada critério podem assumir sem afetar a ordenação. A

Figura 4 exibe os resultados para avaliar a sensibilidade do resultado do modelo. Foi utilizada uma variação de 10% nos pesos de todos os critérios durante as 10.000 simulações da análise de sensibilidade executadas pelo software *FITradeoff*.

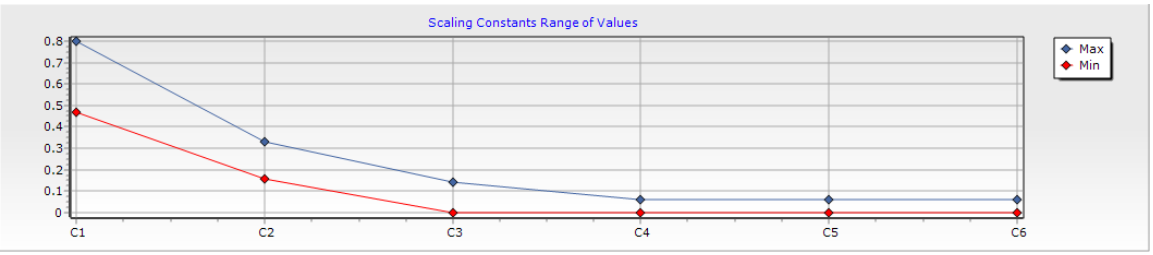


Figura 4 – Gráfico do Intervalo de variação aceitável para a constante de escala de cada critério

Como resultado, é possível afirmar que o modelo utilizado apresenta robustez e consistência para os resultados com os potenciais variações nas constantes de escala descobertas. Após a conclusão das fases de análise de sensibilidade e avaliação de inconsistências, foi possível validar a saída do modelo com o decisor.

5. Conclusão

Este artigo apresentou um modelo de decisão multicritério para avaliar combustíveis para grupo geradores de energia elétrica. Após teste do modelo com uma aplicação numérica, foi possível verificar que o método *FITradeoff* se mostrou eficaz naquilo que é proposto. Com ele, foi possível extrair as alternativas necessárias para a análise, bem como, os critérios que seriam utilizados.

Com as perguntas de ordenação e elicitação flexível, foi possível extrair do decisor as constantes de escala dos critérios e suas preferências em relação ao desempenho de um critério melhor contra o desempenho de um critério pior. Por fim, de acordo com as preferências do decisor, o GLP se mostrou a melhor alternativa de combustível para grupo geradores, seguido do Diesel e GN, respectivamente. Este resultado também contribui para mostrar o quanto o gás liquefeito de petróleo pode ser importante em diferentes aplicações, além do seu uso para cozinha. Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação do modelo para um conjunto maior de alternativas.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT-MS), pelo financiamento da pesquisa.

Referências

Adiyasa, I. W., Firmansyah, E., Cahyadi, A. I., e Kautsar, A. (2018). Design of Simple ECU for LPG Fuel Injection on Conventional Generator Set. 2018 4th International Conference on Science and Technology (ICST).

de Almeida, A. T. (2013). Processo de decisão nas organizações. São Paulo: Atlas.

de Almeida, A.T.; Almeida, J.A.; Costa, A.P. C.S.; Almeida-Filho, A.T. (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.

Brasil. Lei nº 8.176, de 8 de fevereiro de 1991. (1991). Define crimes contra a ordem econômica e cria o Sistema de Estoques de Combustíveis. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8176.htm. Acessado em 10 de fevereiro de 2021

Büyüközkan, G., Feyzioğlu, O., e Göçer, F. (2018). Selection of sustainable urban transportation alternatives using an integrated intuitionistic fuzzy Choquet integral approach. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 58, 186–207.

Chen, L., e Ren, J. (2018). Multi-attribute sustainability evaluation of alternative aviation fuels based on fuzzy ANP and fuzzy grey relational analysis. Journal of Air Transport Management, 68, 176–186.

Frej, E.A., de Almeida, A.T. e Costa, A.P.C.S. (2019). Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation. Operational Research, 19, p. 909–931.

Keeney, R. L., Raiffa, H., & Rajala, D. W. (1979). Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 9(7), 403–403. doi:10.1109/tsmc.1979.4310245

Oztaysi, B., Cevik Onar, S., Kahraman, C., e Yavuz, M. (2017). Multi-criteria alternative-fuel technology selection using interval-valued intuitionistic fuzzy sets. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 53, 128–148.

Saha, C. K., Sabbir, A. S. M. Y. B., Sarker, S., e Alam, M. M. (2020). Development and Evaluation of LPG Based Heating System for BAU-STR Dryer. 2020 ASABE Annual International Virtual Meeting, July 13-15.

Ullah, K., Hamid, S., Mirza, F. M., e Shakoor, U. (2018). Prioritizing the gaseous alternatives for the road transport sector of Pakistan: A multi criteria decision making analysis. Energy, 165, 1072–1084.

Watson H, Gowdie D. (2000). The systematic evaluation of twelve LP Gas fuels for emissions and fuel consumption. SAE Technical Paper.