



APLICAÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE-SAPEVO-M1 PARA ORDENAÇÃO DE PULVERIZADORES TRATORIZADOS PARA CONTROLE DE PRAGAS E FERTILIZAÇÃO EM PLANTIOS DE GRÃOS

Bruno Pereira Diniz (UFCG) brunopereiradiniz046@gmail.com
Daniel Augusto de Moura Pereira (UFCG) danielmoura@ufcg.edu.br
Mateus José de Siqueira Silva (UFCG) mateussiqueirasilva3@gmail.com
Pedro Paulo Mendes Tomaz (UFCG) pedrtomz@gmail.com

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o ranqueamento de pulverizadores tratorizados para grãos, que são máquinas agrícolas utilizadas para aplicar herbicidas, pesticidas e fertilizantes em campos de cultivo, que distribuem produtos químicos de maneira precisa, uniforme, rápida e eficiente, reduzindo o tempo e o esforço necessários para o trabalho manual, além de possuir sistemas de controle avançado, como GPS e sensores, que garantem a precisão da aplicação e evitam desperdícios. Portanto, a partir do método PROMETHEE-SAPEVO-M1 foi feita a aplicação com a utilização de critérios quantitativos e com as melhores alternativas do mercado de acordo com a popularidade de cada marca no ramo de máquinas agrícolas. O método utilizado apresentou de maneira organizada o ranqueamento dos pulverizadores mais favoráveis, os mais bem avaliados foram, o John Deere – M4040 como primeiro lugar, o Massey Ferguson – MF 9335 na segunda colocação e na terceira posição o Jacto – Uniport 4530.

Palavras-Chaves: PROMETHEE-SAPEVO-M1. Controle de Pragas. Pulverizadores Tratorizados. Método Multicritério.

1. Introdução

A utilização de máquinas agrícolas é importante na produção de grãos pois elas permitem um trabalho mais rápido e eficiente, aumentando a produtividade e reduzindo custos. Além disso, elas também podem melhorar a qualidade dos grãos, pois podem ser programadas para realizar tarefas específicas, como plantio e colheita, com precisão.

Outra vantagem é a redução da necessidade de mão de obra, o que pode ser especialmente importante em áreas remotas ou onde a mão de obra é escassa. Em resumo, as máquinas



agrícolas são fundamentais para aumentar a eficiência, reduzir custos e melhorar a qualidade dos grãos produzidos.

Os pulverizadores tratorizados para grãos, são máquinas agrícolas utilizadas para aplicar herbicidas, pesticidas e fertilizantes em grandes campos de cultivo. Essas máquinas são acopladas a tratores e possuem uma barra de pulverização que é movida pelo trator, permitindo que os produtos químicos sejam aplicados de maneira precisa e eficiente. Eles são amplamente utilizados em grandes propriedades agrícolas, pois permitem que uma grande área seja coberta em pouco tempo.

Estas máquinas também possuem uma capacidade de tanque grande, geralmente com capacidade de armazenar várias centenas de litros, permitindo que o trabalho seja realizado sem interrupções frequentes para reabastecimento. No entanto, é importante lembrar que estes pulverizadores precisam ser usados com cuidado e seguindo as orientações de segurança e uso para evitar possíveis danos ao meio ambiente e à saúde humana.

O Apoio Multicritério à Decisão (AMD) é uma técnica utilizada para ajudar a tomar decisões complexas, onde há vários critérios e objetivos a serem considerados. Ele permite avaliar e comparar diferentes opções de acordo com critérios quantitativos e qualitativos, e fornece uma visão geral dos resultados para ajudar a identificar a melhor escolha.

Para Gomes e Gomes (2019), os métodos AMD, podem ser compreendidos como técnicas que viabilizam ao decisor (seja indivíduo, grupos ou organizações) a estruturação e análise de problemas complexos de avaliação de forma transparente, com a introdução de critérios quantitativos e qualitativos, em casos específicos, havendo trade-off entre eles.

Esses métodos permitem aos agentes decisores estruturarem um processo decisório, considerando vários aspectos de avaliação, tais como técnicos, socioeconômicos e ambientais por exemplo, em níveis operacionais e estratégicos para tomada de decisão (GRECO; FIGUEIRA; EHRGOTT, 2016)

O presente artigo teve o objetivo de auxiliar os produtores de grãos na escolha de pulverizadores tratorizados para o controle de pragas em áreas plantadas, a partir do método já citado anteriormente, levando em consideração seis critérios de decisão que irão definir a melhor escolha, por meio da comparação entre os seis tipos de máquinas agrícolas em análise.

2. Referencial Teórico

2.1. Método Apoio Multicritério à Decisão

Um método Apoio Multicritério à Decisão (AMD) é caracterizado por um processo de análise de tomada de decisão avaliando alternativas a partir de múltiplos critérios de avaliação, identificando as preferências do decisor e viabilizando a utilização dessas informações para a estruturação de um modelo de preferência agregada (CINELLI, 2017).

Ainda abordado por Greco, Ehrgott e Figueira (2016), toda disciplina desenvolvida nas áreas da PO e Engenharia de Decisão, e que especificamente buscam dar suporte a uma avaliação de alternativas, analisadas com relação a um conjunto de critérios, podem ser reconhecidas como avaliações AMD.

2.2. Método PROMETHEE-SAPEVO-M1

O método proposto é caracterizado por uma modelagem que realizará a junção do método PROMETHEE com técnicas presente no método SAPEVO-M, evolução do método SAPEVO [Gomes et al., 1997]. O método SAPEVO-M (Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors – Multi Decision Makers) viabiliza uma análise de dados qualitativos por meio de entradas ordinais, o mesmo é destinado a problemáticas que buscam esclarecer a decisão pelo reagrupamento de ações em classes de equivalência, ordenando de modo parcial ou total, segundo as preferências do(s) decisor(es).

A modelagem proposta por Moreira, Santos e Gomes (2019), é caracterizada por uma nova extensão presente na família de métodos PROMETHEE, nela é realizado uma integração entre a modelagem original do método, e técnicas de avaliação por entradas ordinais do método SAPEVO-M (Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors – Multi Decision Makers) evolução do método SAPEVO (GOMES; MURY; GOMES, 1997).

O modelo axiomático permite não só avaliar dados quantitativos, como também, variáveis qualitativas por meio de entradas ordinais, permitindo ao decisor expressar seus pontos de subjetividade. Conforme apresentado na Tabela 1, mediante uma escala de sete pontos verbais é possível obter relações de preferência e convertê-las em pontuações cardinais, indicando um grau de preferência entre duas alternativas ou dois critérios (MOREIRA, 2020).

Tabela 1 – Escala ordinal para indicação de preferência entre alternativas ou critérios

Expressão Linguística	Pontuação
Absolutamente pior / Absolutamente menos importante	-3
Muito pior / Muito menos importante	-2
Pior / Menos importante	-1
Igual ou equivalente / Tão importante quanto	0
Melhor / Mais importante	1
Muito melhor / Muito mais importante	2
Absolutamente melhor / Absolutamente mais importante	3

Fonte: Adaptado de MOREIRA (2020)

Para avaliação das alternativas nos critérios qualitativos, é realizado uma avaliação paritária entre as alternativas em avaliação, na qual será obtido um grau de importância, mediante a Equação 1, para cada alternativa no dado critério. Com os graus é realizado uma avaliação onde são obtidas as diferenças entre as alternativas ($P[f(a1) - f(a2)]$), levando assim a construção de uma nova matriz e normalização das diferenças por meio da aplicação de uma função semicritério.

$$v = \frac{\sum a_{ij} - \min a_{ij}}{\max a_{ij} - \min a_{ij}} \quad (1)$$

Uma estrutura similar também é utilizada para obtenção dos pesos nos critérios. Entretanto, conforme apresentado na Equação (2), é considerado duas grandezas nomeadas, soma máxima ($x=(n-1).3$) e soma mínima ($x=(n-1).-3$), indicando o máximo e mínimo possível que um dado critério pode obter como pontuação na avaliação. Pela função de normalização (5), as pontuações são obtidas e seu montante será igualado a 1, gerando assim os respectivos pesos para cada um dos critérios.

$$v = \frac{\sum a_{ij} - \text{soma min}}{\text{soma max} - \text{soma min}} \quad (2)$$

Quanto aos critérios quantitativos, é mantido a mesma estrutura axiomática do método PROMETHEE. Ao final das entradas de dados é gerado os índices de preferência global e obtidos os fluxos de importância positivo, negativo, e o fluxo líquido, representando a diferença entre os fluxos positivos e negativos.

O método PROMETHEE-SAPEVO-M1 gera três formas de análises dos resultados pelo mesmo conjunto de entradas. As análises são realizadas mediante Avaliações de Preferências

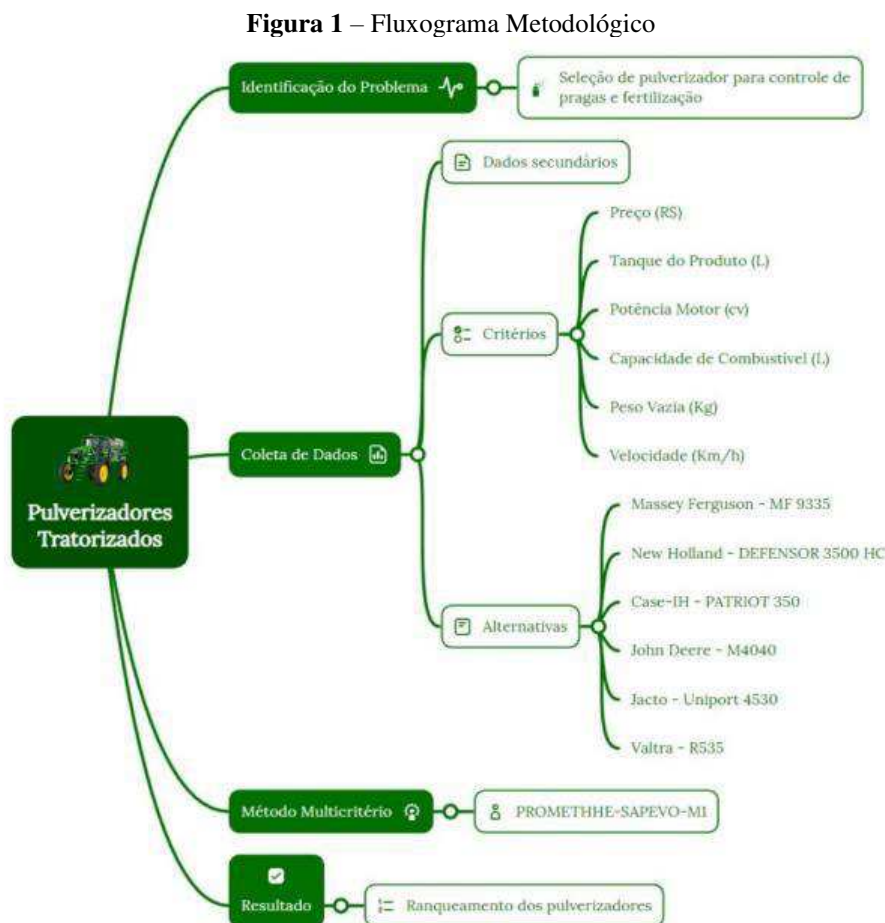
Parciais (PROMETHEE I), Preferências Totais (PROMETHEE II) e Preferências por Intervalos (PROMETHEE III). Indicando uma espécie de análise de sensibilidade mediante a comparação do comportamento dos fluxos diante de três diferentes formas de manipulação.

Além das análises de preferência, uma análise intra-critério por limiar de veto também é apresentada. O valor não influencia diretamente na obtenção dos fluxos, mas serve como uma informação adicional para o decisor, mantendo a restrição de que o veto deve ser maior ou igual ao parâmetro de preferência e indiferença, onde $v_j \geq p_j \geq q_j$.

Para os critérios qualitativos $v_j = 1$, e para os critérios quantitativos $v_j = \max(a_{ij})$, caso a limiar de preferência (p) seja maior que a indicação de veto, o valor passa a ser equivalente a preferência $v_j = p$.

3. Metodologia

Trata-se de uma pesquisa quantitativa de caráter exploratória e que seguiu o seguinte fluxograma metodológico para sua realização, conforme mostra a Figura 1.



Fonte: Autores (2023)

A partir da identificação do problema, a seleção de pulverizador tratorizado para controle de pragas e fertilização, elencou-se os critérios quantitativos, a saber: Preço, Tanque do Produto, Potência Motor, Capacidade de Combustível, Peso Vazia e Velocidade.

Em seguida, foi indicada uma pré-seleção de alternativas viáveis, de acordo com os critérios, e seis modelos de pulverizadores foram indicados para o modelo de decisão: Massey Ferguson – MF 9335, New Holland – DEFENSOR 3500 HC, Case-IH – PATRIOT 350, John Deere – M4040, Jacto – Uniport 4530 e Valtra – R535.

Finalmente, o método de Análise de Decisão Multicritério definido para apoiar a decisão de seleção dos pulverizadores tratorizados foi o PROMETHEE-SAPEVO-M1 (compensatório). A seleção do pulverizador deveu-se à encomenda da melhor alternativa apresentada no método mencionado acima.

4. Resultados e Discussão

A aplicação do método será realizada mediante uma aplicação prática. Por meio de uma pesquisa voltada para pulverizadores tratorizados, seis modelos foram selecionados para a realização da análise, as opções são descritas nas Figuras 2, 3, 4, 5, 6, e 7.

Figura 2 – Pulverizador Massey Ferguson – MF 9335



Fonte: MASSEY FERGUSON “S.D.”

Figura 3 – Pulverizador New Holland – DEFENSOR 3500 HC



Fonte: NEW HOLLAND “S.D.”

Figura 4 – Pulverizador Case-IH – PATRIOT 350



Fonte: CASE-IH “S.D.”

Figura 5 – Pulverizador John Deere – M4040



Fonte: JOHN DEERE “S.D.”

Figura 6 – Jacto – Uniport 4530

Fonte: JACTO “S.D.”

Figura 7 – Valtra – R535

Fonte: VALTRA “S.D.”

Para o método será realizada uma aplicação, apresentando sua característica, como critérios de avaliação, estruturação dos pesos nos critérios e formas de análises dos resultados.

4.1. Aplicação do PROMETHEE-SAPEVO-M1

Para a aplicação do método será utilizado o Software PROMETHEE-SAPEVO-M1 (MOREIRA; SANTOS; GOMES, 2020), que pode ser acessado e operado de forma online pelo link: www.promethee-sapevo.com.

A Figura 8 mostra a modelagem do problema, conforme alternativas e critérios já mostrados anteriormente.

Figura 8 – Modelagem do problema - Software PROMETHEE-SAPEVO-M1



Fonte: Autores (2023)

A Figura 9 mostra os critérios quantitativos para a inserção das grandezas cardinais, pertencentes a cada alternativa no dado critério, sendo requerido selecionar o tipo de função generalizada e formato de normalização.

Figura 9 – Estruturação do problema - Software PROMETHEE-SAPEVO-M1

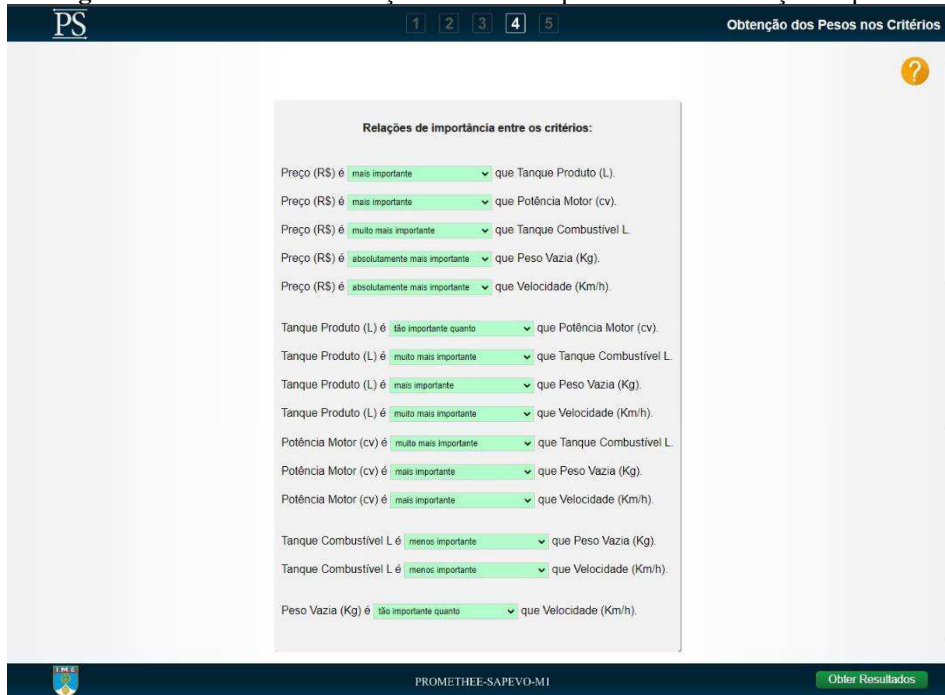


	MF 9335	DEFENSOR 3500 HC	PATRIOT 350	M4040	Unipont 4530	R535		
Preço (R\$)	1161138	1809800	2580635	2502121	2216707	2149900	Minimizar	Critério Verdadero
Tanque Produto (L)	3500	3500	3500	4000	4500	3500	Maximizar	Critério Verdadero
Potência Motor (cv)	200	250	250	275	343	200	Maximizar	Critério Verdadero
Tanque Combustível (L)	365	319	319	503	275	350	Maximizar	Critério Verdadero
Peso Vazio (Kg)	9730	10940	11500	10650	10610	10020	Minimizar	Critério Verdadero
Velocidade (Km/h)	45	50	45	47	55	45	Maximizar	Critério Verdadero

Fonte: Autores (2023)

Com o problema estruturado, é iniciada avaliação dos critérios quantitativos, sendo definido por meio de seleção as relações de preferência entre as alternativas no critério quantitativo, avaliação similar é realizada para a obtenção dos pesos dos critérios, conforme exposto na Figura 10.

Figura 10 – Formato de avaliação de critérios quantitativos e obtenção de pesos



Obtenção dos Pesos nos Critérios

Relações de importância entre os critérios:

- Preço (R\$) é **mais importante** que Tanque Produto (L).
- Preço (R\$) é **mais importante** que Potência Motor (cv).
- Preço (R\$) é **muito mais importante** que Tanque Combustível L.
- Preço (R\$) é **absolutamente mais importante** que Peso Vazia (Kg).
- Preço (R\$) é **absolutamente mais importante** que Velocidade (Km/h).
- Tanque Produto (L) é **não importante quanto** que Potência Motor (cv).
- Tanque Produto (L) é **muito mais importante** que Tanque Combustível L.
- Tanque Produto (L) é **mais importante** que Peso Vazia (Kg).
- Tanque Produto (L) é **muito mais importante** que Velocidade (Km/h).
- Potência Motor (cv) é **muito mais importante** que Tanque Combustível L.
- Potência Motor (cv) é **mais importante** que Peso Vazia (Kg).
- Potência Motor (cv) é **mais importante** que Velocidade (Km/h).
- Tanque Combustível L é **menos importante** que Peso Vazia (Kg).
- Tanque Combustível L é **menos importante** que Velocidade (Km/h).
- Peso Vazia (Kg) é **não importante quanto** que Velocidade (Km/h).

PROMETHEE-SAPEVO-M1 Obter Resultados

Fonte: Autores (2023)

Para um formato de modelagem e análise mais robusta, o método gerou várias formas de resultados por meio de entradas numéricas e definições de preferência. A partir da apresentação do índice de preferência global, expõe-se o grau em que cada alternativa domina a outra no contexto de avaliação, e quantificam-se valores positivos, negativos e de fluxo líquido. Os resultados numéricos são mostrados na Figura 11, observando que a região direita da figura também mostra os limites x e y responsáveis por criar intervalos ao avaliar as preferências de intervalo.

Figura 11 – Resultados numéricos - Software PROMETHEE-SAPEVO-M1



Análise dos Resultados Detalhada

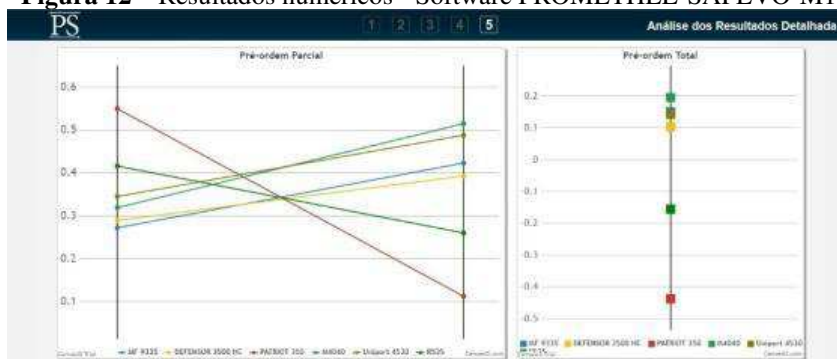
Índices de Preferência Global Ponderados e Fluxos de Importância

	MF 9335	DEFENSOR 3500 HC	PATRIOT 350	M4040	Uniport 4530	R535	Fluxo Positivo	Fluxo Líquido	Intervalos (erro padrão = 0.101)
MF 9335	0	0.08	0.098	0.067	0.08	0.098	0.423	0.151	x = 0.05 y = 0.252
DEFENSOR 3500 HC	0.052	0	0.085	0.065	0.093	0.098	0.393	0.104	x = 0.003 y = 0.205
PATRIOT 350	0.033	0	0	0	0.046	0.033	0.112	-0.438	x = -0.539 y = -0.337
M4040	0.1	0.102	0.167	0	0.046	0.1	0.515	0.196	x = 0.095 y = 0.297
Uniport 4530	0.087	0.074	0.12	0.12	0	0.087	0.488	0.143	x = 0.042 y = 0.244
R535	0	0.033	0.08	0.067	0.08	0	0.26	-0.156	x = -0.257 y = -0.055
Fluxo Negativo	0.272	0.289	0.55	0.319	0.345	0.416			

Fonte: Autores (2023)

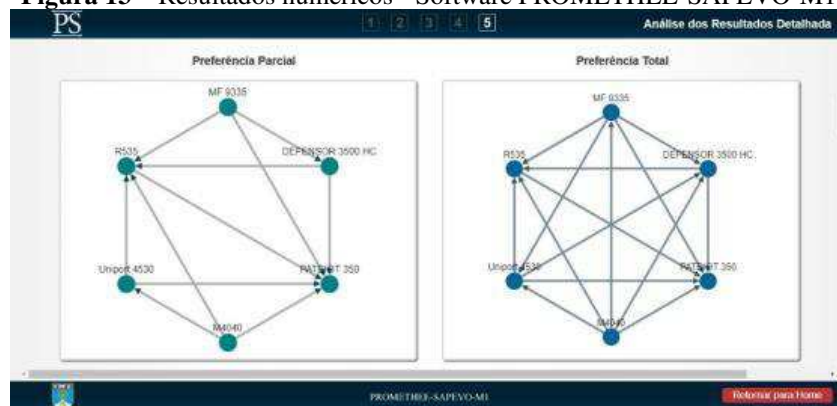
Complementando a análise dos resultados, nas Figuras 12 e 13 é demonstrado o formato de análise gráfica do software. Primeiramente é apresentado os gráficos respectivos aos três formatos de análise do método, análise de preferência parcial, total e por intervalos, entretanto também há a possibilidade de visualizar os resultados de preferência parcial e total por grafos.

Figura 12 – Resultados numéricos - Software PROMETHEE-SAPEVO-M1



Fonte: Autores (2023)

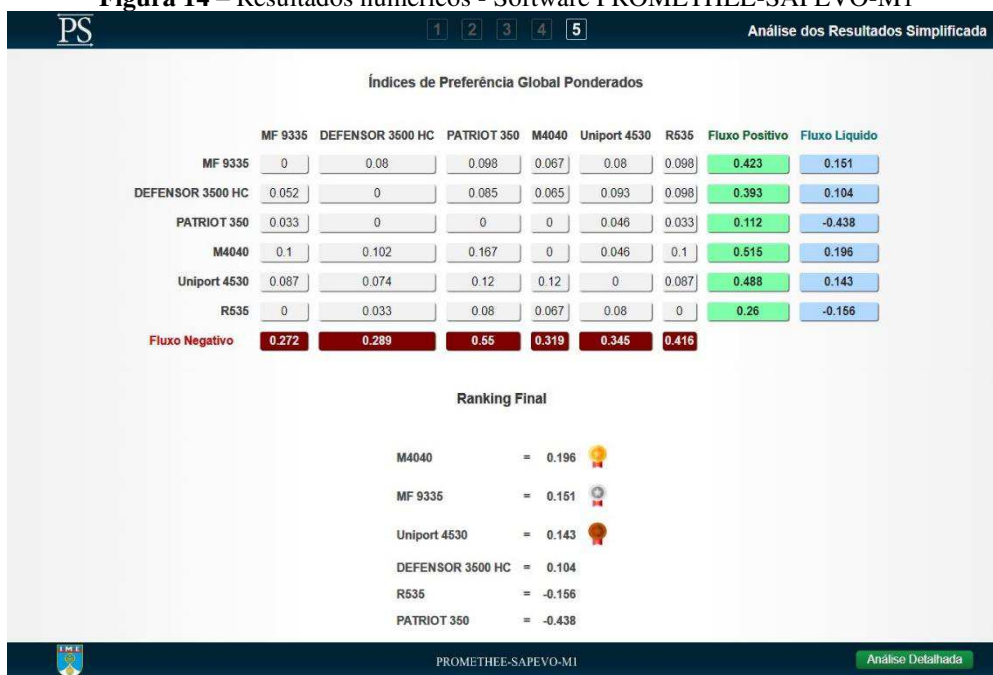
Figura 13 – Resultados numéricos - Software PROMETHEE-SAPEVO-M1



Fonte: Autores (2023)

Diante a análise realizada e por considerar critérios que lidam com a preferência subjetiva do decisor, o pulverizador tratorizado de melhor desempenho na avaliação foi o John Deere – M4040 como mostra a Figura 14, apresentando maior fluxo positivo, maior fluxo líquido, porém foi o terceiro colocado no menor fluxo negativo. Ainda na Figura 13 a análise mediante grafos é clara, observando que a alternativa John Deere – M4040 direciona “setas de dominância” para as demais opções do conjunto. Em segundo lugar ficou o Massey Ferguson – MF 9335, que obteve o menor fluxo negativo e segundo melhor fluxo líquido, e na terceira colocação foi ocupado pelo Jacto – Uniport 4530 o qual teve o segundo melhor fluxo positivo e o terceiro melhor fluxo líquido.

Figura 14 – Resultados numéricos - Software PROMETHEE-SAPEVO-M1



Fonte: Autores (2023)

5. Considerações Finais

O estudo desenvolvido teve por objetivo, estar apresentando um caso em que a aplicação de um método de Apoio Multicritério à Decisão pode ter alto impacto para o Agronegócio do Brasil, com a ordenação das máquinas agrícolas.

Outra vez o método PROMETHEE-SAPEVO-M1, mostra sua eficiência e eficácia, a partir do momento em que habilita operar dados de diferentes naturezas de forma equivalente quanto as suas análises e resultados. A plataforma online apresenta sua robustez entregando uma obtenção de pesos de forma estruturada e uma análise de resultados de ordenação de preferência.

Para o Agronegócio, especialmente os produtores de grãos, espera-se que este trabalho sirva para apoiá-los em uma tomada de decisão relacionada ao reconhecimento de quais pulverizadores tratorizados são os mais favoráveis em uma aplicação eficiente e eficaz em suas operações nas grandes áreas de cultivo.

REFERÊNCIAS

CINELLI, M. The Art of Supporting Decision-Making. Exchanges: The Interdisciplinary Research Journal, v. 4, n. 2, p. 298, 2017.



GOMES, L. F. A. M., e GOMES, C. F. S. Princípios e métodos para a tomada de decisão: Enfoque multicritério (6a ed.). São Paulo: Atlas. (2019).

GOMES, L. F. A. M.; MURY, A. R.; GOMES, C. F. S. Multicriteria ranking with ordinal data. Systems Analysis Modelling Simulation, v. 27, p. 139-146, 1997.

GOMES, L. F. A. M.; MURY, A. R.; GOMES, C. F. S. Multicriteria ranking with ordinal data. Systems Analysis Modelling Simulation, v. 27, n. 2-3, p. 139-145, 1997.

GRECO, S.; EHRGOTT, M.; FIGUEIRA, J. R. Multiple Criteria Decision Analysis State of the Art Surveys. Second ed. ed. New York: Springer, 2016.

MOREIRA, M. Â. L.; SANTOS, M. DOS; GOMES, C. F. S. Proposta De Modelagem Híbrida Promethee-Sapevo-M1: Avaliação Multicritério De Drones Para Emprego Na Guerra Naval. Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha - Publicação Online, p. 2253-2271, 2019.

MOREIRA, MIGUEL ÂNGELO LELLIS; DOS SANTOS, MARCOS; GOMES, CARLOS FRANCISCO SIMÕES. MÉTODO HÍBRIDO PROMETHEE-SAPEVO-M1: UMA EVOLUÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE, 2020.

MOREIRA, M. Â. L.; SANTOS, M. DOS; GOMES, C. F. S. Software PROMETHEE-SAPEVO-M1, 2020. Disponível em: <www.promethee-sapevo.com>.