

APLICAÇÃO DOS MÉTODOS AHP E TOPSIS PARA ORDENAÇÃO DE COLHEITADEIRAS DE GRÃOS PARA REALIZAÇÃO DE COLHEITA EM GRANDES ÁREAS DE CULTIVO

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

João Cavalcanti Neto (UFCG) joao.cavalcanti@estudante.ufcg.edu.br

Guilherme Nascimento Araújo (UFCG) guilherme1803gui@gmail.com

Resumo

O presente artigo tem como objetivo apresentar o ranqueamento de colheitadeiras de grãos, que são máquinas utilizadas para colher e processar grãos, como trigo, cevada, aveia e arroz em campos de cultivo, onde realizam o corte da planta e separam o grão da palha ou colhem o grão diretamente da planta. As colheitadeiras modernas geralmente possuem tecnologias avançadas, como sistemas de navegação GPS, sensores de colheita e sistemas de limpeza automática. Estes recursos permitem uma colheita mais precisa e eficiente, além de reduzir o tempo e o esforço necessários para a colheita manual. Portanto, a partir dos métodos Analytic Hierarchy Process (AHP) e Technique for Order Preferences by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), foram feitas as aplicações com a utilização de critérios quantitativos e com as melhorias alternativas do mercado de acordo com a popularidade de cada marca no ramo de máquinas agrícolas. Os métodos utilizados apresentaram de maneira organizada o ranqueamento das máquinas agrícolas, as mais bem avaliadas foram, a Case-IH – AXIAL-FLOW 9250 como primeira colocada nas duas aplicações, já na segunda posição teve mudanças, no AHP ficou a Fendt – IDEAL 9 e no TOPSIS a BC 7800 da Valtra, e na terceira posição ficou ocupada pela New Holland – CR 10.90 nos dois métodos.

Palavras-Chaves: Colheita de Grãos. Multicritério. AHP. Colheitadeira . TOPSIS.

1. Introdução

Colheitadeiras de grãos são máquinas agrícolas projetadas para colher grãos, como trigo, cevada, milho, entre outros. Elas são utilizadas para ajudar os agricultores a aumentar a eficiência e a velocidade da colheita, reduzindo a necessidade de mão de obra manual. Além disso, as colheitadeiras também podem ser equipadas com sistemas de armazenamento

integrados, permitindo que os grãos sejam armazenados diretamente na máquina, economizando tempo e esforço adicionais.

Em resumo, as colheitadeiras de grãos são máquinas complexas e avançadas que ajudam os agricultores a colher e processar grãos de forma mais eficiente e precisa. Elas têm tecnologias avançadas que permitem uma colheita automatizada, além de sistemas de armazenamento integrados para economizar tempo e esforço. Existem diferentes tipos de colheitadeiras de grãos disponíveis no mercado, cada um com suas próprias características e vantagens. Algumas colheitadeiras são projetadas para serem utilizadas em grandes fazendas, enquanto outras são mais compactas e ideais para pequenas propriedades agrícolas.

Para Gomes e Gomes (2019), os métodos Apoio Multicritério à Decisão (AMD) podem ser entendidos como técnicas que permitem aos tomadores de decisão (sejam indivíduos, grupos ou organizações) enquadrar e analisar problemas complexos de avaliação de maneira transparente, introduzindo critérios quantitativos e qualitativos, em casos específicos, faça trocas entre eles.

Esses métodos permitem que os tomadores de decisão estruturem os processos de tomada de decisão, considerando aspectos da avaliação, como tecnológico, socioeconômico e ambiental, por exemplo, nos níveis operacional e estratégico da tomada de decisão (GRECO; FIGUEIRA; EHRGOTT, 2016)

O presente trabalho teve o objetivo de auxiliar os produtores de grãos na escolha de máquinas agrícolas para a colheita de grãos em áreas plantadas, a partir dos métodos já citados anteriormente, levando em consideração cinco critérios de decisão que irão definir a melhor escolha, por meio da comparação entre os seis tipos de colheitadeiras em análise.

2. Referencial Teórico

2.1 Método Apoio Multicritério à Decisão

Um método 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.

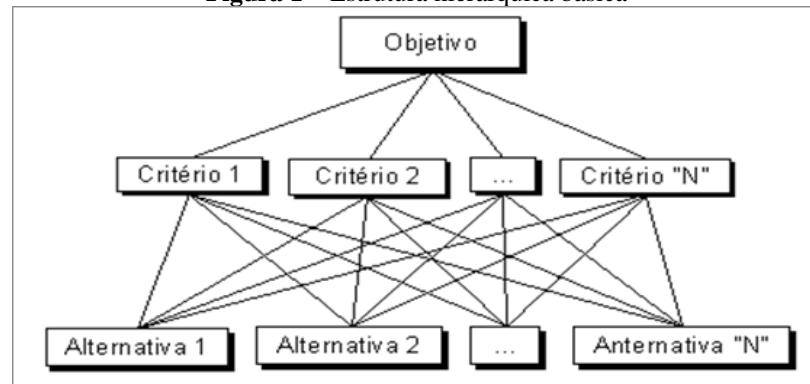
2.2. Método AHP

O AHP é um método de auxílio à decisão multicritério criado pelo matemático e professor americano Thomas Lorie Saaty durante a década de 1970, cujo objetivo é, em síntese, o apoio para priorizar as alternativas de um determinado problema de decisão, considerando dois ou mais critérios predefinidos para isso.

Santos et al., (2019) apresentaram uma síntese do funcionamento do AHP em seis etapas básicas, a saber:

1. Estruturar a situação de decisão em uma hierarquia: uma vez definido o escopo do problema, ele é organizado de acordo com a Figura 1.

Figura 1 – Estrutura hierárquica básica



Fonte: (Santos et al., 2019)

2. Uma próxima maneira de representar os dados de entrada do problema, usando a situação de decisão, é a matriz de decisão. Ele atribui valores de referência para cada critério alternativo e é um formato que será usado para as próximas etapas do modelo. A Tabela 1 representa um modelo que seria utilizado no problema apresentado na Figura 1.

Tabela 1 – Modelo de matriz de decisão entre pares

	Critério 1	Critéri o 2	...	Critério N
Alternativa 1			...	
Alternativa 2			...	
...
Alternativa N			...	
Tipo de critério	Maximização	Minimizar	...	Maximização

Fonte: Adaptado de (Mattos Bento Soares et al., 2021)

3. Construindo a matriz para comparações: O tomador de decisão precisa registrar uma declaração de preferência para cada par de elementos comparados. Esta etapa é executada com o apoio da construção de uma matriz de tamanho N x N, ou N igual ao número de critérios. A Tabela 2 representa um modelo da matriz comparativa.

Tabela 2 – Modelo matricial de comparações entre pares

Critérios	C1	C2	...	CN
C1	1			
C2		1		
...			...	
CN				1

Fonte: (Santos et al., 2019)

4. Determinação dos pesos atribuídos para cada relação paritária da matriz apresentada na Tabela 2. Para cada par de elementos, um índice é aplicado ao relacionamento. O índice em questão deve ser baseado na Escala Saaty Fundamental, que é apresentada na Tabela 3. É importante notar que, como as comparações são feitas entre elementos de um nível hierárquico com outro nível contíguo, os valores que compõem a diagonal da matriz de comparação serão naturalmente iguais a um, uma vez que um critério só pode ter igual importância quando a comparação é feita a si mesmo.

Tabela 3 – Escala Fundamental Saaty

Escala	Avaliação	Comentários
1	Igualmente importante	Ambos os elementos também contribuem para o objetivo.
3	Moderadamente mais importante	Julgamento ligeiramente superior
5	Forte importância	O elemento é fortemente preferido
7	Muito fortemente preferido	A relação de dominância entre os elementos é muito clara
9	Extrema importância	Domínio absoluto
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Valores de dúvida

Fonte: Adaptado de (Santos et al., 2019)

Medição da congruência para as preferências dadas, através de um indicador denominado razão de consistência (CR), que pode ser calculado a partir do (IC) e (AI) aplicados como mostrado na Equação (1).

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (1)$$

- a. onde, IC: é o índice de consistência, que pode ser obtido por meio de Equação (2); e IA: é o índice de consistência aleatória, um índice fixo determinado a partir do número de critérios (N) avaliados, de acordo com a Tabela 4.

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - N)}{(N - 1)} \quad (2)$$

- b. onde, λ_{\max} : é definido pelo maior autovalor encontrado na matriz; e N: é dado pelo número de critérios avaliados.

Tabela 4 - Índice de Consistência Aleatória (IA)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SERIA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: (Santos et al., 2019)

5. Quando o valor do IC encontrado na Equação (3) é menor ou igual a zero, assume-se que os pesos iguais atribuídos pelo tomador de decisão têm consistência. Caso contrário, a revisão é necessária, pois há uma indicação de que as ponderações não são consistentes (Santos et al., 2019).

$$p = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}} \quad (3)$$

- a. onde, x: é a matriz de comparações paritárias, representada pela Tabela 2.
- b. A partir do vetor de peso obtido, é possível realizar a última etapa, que é a obtenção do índice de significância, para cada alternativa a partir da Equação (4).

$$f(a) = \sum_{c=1}^n p_c \cdot v_c(a) \quad (4)$$

- c. onde, PC: é o peso do critério C; vc: equivalente ao valor de referência do critério c para a alternativa a, na matriz de decisão representada pela Tabela 1; e f(a): é a saída do modelo para a alternativa a.
6. Determinação da ordenação final, para os critérios pré-estabelecidos: aplicando o eq. (4) para o problema, tem-se a saída final na forma de um vetor de ponderação chamado vetor de prioridade das alternativas. Ordenando-o em ordem decrescente, você tem a lista de alternativas, organizadas a partir da melhor alternativa – a mais recomendada, até mesmo a menos recomendada.

2.3. Método TOPSIS

O Método Technique for Order Preferences by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), apresentado por Hwang e Yoon (1981), ordena as alternativas de acordo com a proximidade da Solução Ideal Positiva (SIP). A melhor alternativa é aquela que está mais próxima da SIP e mais distante da Solução Ideal Negativa (SIN).

A aplicação do método TOPSIS pode ser descrita como uma série de sucessivas etapas, a saber (DA COSTA, 2013):

1. Construção da matriz de decisão: A partir da montagem inicial de uma matriz de decisão m x n, onde "m" são as alternativas (neste caso, as ações) e "n" os critérios de avaliação, é possível iniciar a aplicação das etapas sugeridas pela metodologia TOPSIS.

2. Cálculo da matriz normalizada: Segundo Miranda (2008), a normalização da matriz de decisão pode ser feita através de vários modos, tendo sido utilizado no desenvolvimento deste trabalho a normalização por vetor, realizada por meio da Equação (5).

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (5)$$

3. Cálculo da matriz com os respectivos pesos: nesta etapa a matriz normalizada é multiplicada pelos pesos dos critérios. Estes pesos normalmente são definidos de acordo com as percepções de valor do decisão ou de um grupo de decisores (Equação 6).

$$v_{ij} = w_{ij} y_{ij} \quad (6)$$

4. Identificação da PIS e da NIS: consiste na determinação dos melhores níveis (situação ideal) para cada um dos critérios analisados, sendo representados pela letra S^+ . O mesmo procedimento é realizado para determinar os piores níveis (solução anti-ideal), representado por S^- . Utilizam-se as Equações (7) e (8):

$$S^+ = \{(max v_{ij} | j \in J), (min v_{ij} | j \in J)\} \quad (7)$$

$$S^- = \{(min v_{ij} | j \in J), (max v_{ij} | j \in J)\} \quad (8)$$

5. Cálculo das distâncias entre a situação ideal positiva e cada alternativa (D^+) e situação ideal negativa e cada alternativa (D^-): cálculo da medida de separação, para cada alternativa, em relação às soluções ideal e anti-ideal. As distâncias euclidianas entre cada alternativa e a respectiva solução ideal positiva (D^+) e solução anti-ideal (D^-) podem ser calculadas pelas Equações (9) e (10):

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ji} - S_j^+)^2} \quad (9)$$

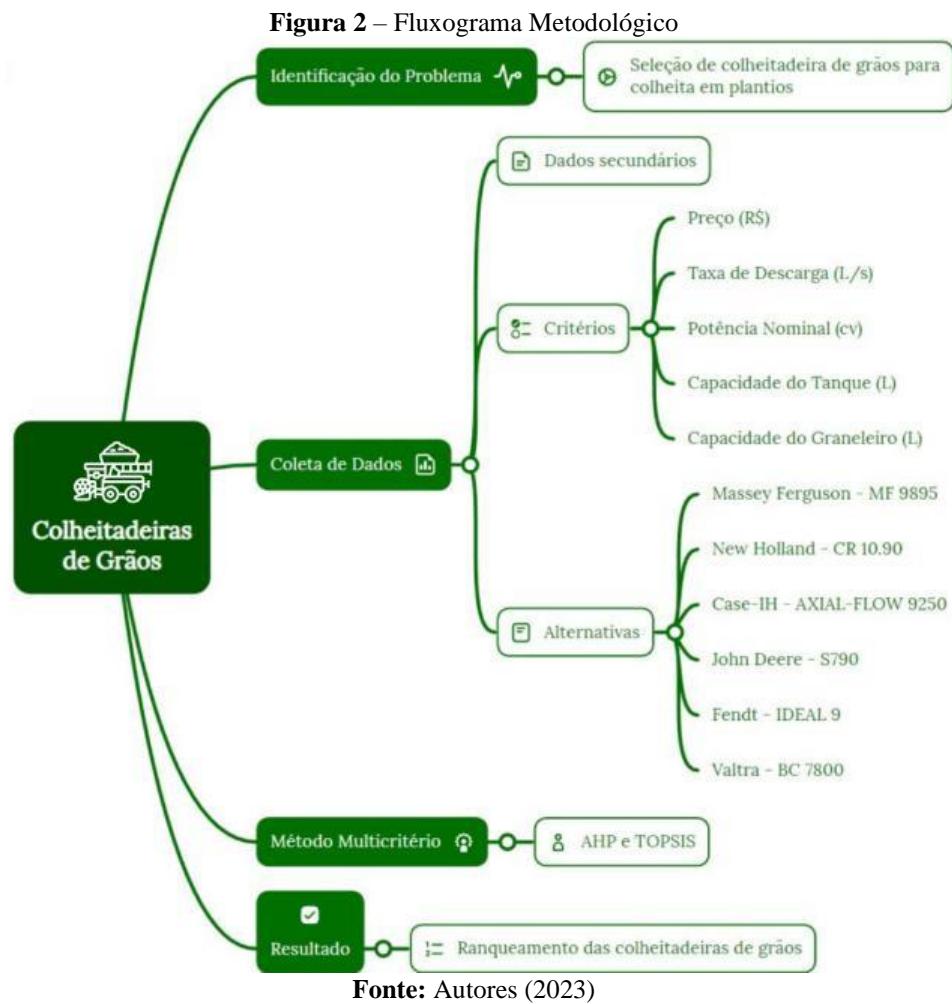
$$D_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ji} - S_j^-)^2} \quad (10)$$

6. Cálculo da similaridade para a posição ideal positiva: finalmente, chegasse ao resultado da aproximação à situação ideal (A_i) e a definição da hierarquização das alternativas, com o emprego da Equação (11):

$$A_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (11)$$

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 2.



A partir da identificação do problema, a seleção de colheitadeira de grãos para controle e realização de colheita em grandes áreas, elencou-se os critérios quantitativos, a saber: Preço, Taxa de Descarga, Potência Nominal, Capacidade de Tanque, Capacidade do Graneleiro.

Em seguida, foi indicada uma pré-seleção de alternativas viáveis, de acordo com os critérios, e seis modelos de colheitadeiras foram indicados para o modelo de decisão: Massey Ferguson – MF 9895, New Holland – CR 10.90, Case-IH – AXIAL-FLOW 9250, John Deere – S790, Jacto – Uniport 4530 e Valtra – BC 7800.

Por fim, os métodos de Análise de Decisão Multicritério definidos para apoiar a decisão de seleção das colheitadeiras de grãos foi o AHP e o TOPSIS. A seleção da colheitadeira deveu-se à encomenda da melhor alternativa apresentada nos métodos mencionados acima.

4. Resultados e Discussão

A aplicação dos dois métodos será realizada mediante uma aplicação prática. Por meio de uma pesquisa voltada para colheitadeiras de grãos, seis modelos foram selecionados para a realização da análise, as opções são descritas nas Figuras 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

Figura 3 – Colheitadeira Massey Ferguson – MF 9895



Fonte: MASSEY FERGUSON “S.D.”

Figura 4 – Colheitadeira New Holland – CR 10.90



Fonte: NEW HOLLAND “S.D.”

Figura 5 – Colheitadeira Case-IH – AXIAL-FLOW 9250



Fonte: CASE-IH “S.D.”

Figura 6 – Colheitadeira John Deere – S790



Fonte: JOHN DEERE “S.D.”

Figura 7 – Colheitadeira Fendt – IDEAL 9



Fonte: FENDT “S.D.”

Figura 8 – Valtra – BC 7800



Fonte: VALTRA “S.D.”

Para os dois métodos foram realizadas duas aplicações, apresentando suas características, como critérios de avaliação, estruturação dos pesos nos critérios e formas de análises dos resultados.

4.1. Aplicação do AHP

Para a aplicação do método AHP, foi utilizado o Software Three Decision Methods (3DM) Software Web (BOZZA; RUY; SANTOS; MOREIRA; ROCHA JUNIOR; GOMES, 2020), que pode ser acessado e operado de forma online pelo link: <http://www.3decisionmethods.com/3DM/index.html>.

As Figuras 9 e 10 mostram a modelagem do problema, conforme alternativas e critérios já mostrados anteriormente.

Figura 9 – Estruturação das Alternativas



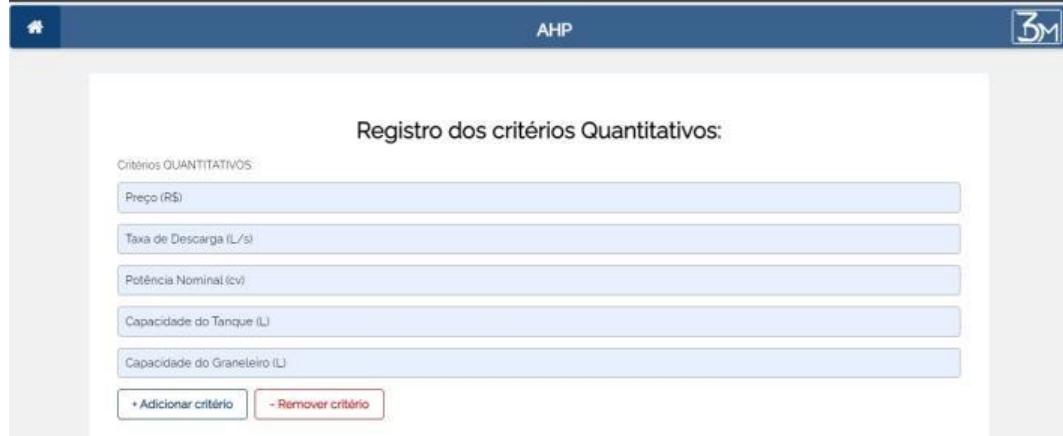
Alternativas

- MF 9895
- CR 30.90
- AXIAL-FLOW 9250
- S790
- BC 7800
- IDEAL 9

+ Adicionar alternativa - Remover alternativa

Fonte: Autores (2023)

Figura 10 – Estruturação dos Critérios



Fonte: Autores (2023)

A Figura 11 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.

Figura 11 – Inserção das Grandezas Cardinais



Fonte: Autores (2023)

Com o problema estruturado, é iniciada avaliação dos critérios quantitativos, sendo definido por meio de seleção as relações de preferência entre os critérios por meio da escala de Saaty, avaliação similar é realizada para a obtenção dos pesos dos critérios, conforme exposto na Figura 12.

Figura 12 – Matriz de Decisão do AHP
Matriz de Desempenho Final

	MF 9895	CR 10.90	AXIAL-FLOW 9250	S790	BC 7800	IDEAL 9	Peso Calculado
Preço (R\$)	0.0833	0.0710	0.0767	0.0737	0.0958	0.0639	0.4644
Taxa de Descarga (L/s)	0.0065	0.0061	0.0069	0.0058	0.0065	0.0060	0.0378
Potência Nominal (cv)	0.0422	0.0573	0.0569	0.0494	0.0372	0.0589	0.3019
Capacidade do Tanque (L)	0.0117	0.0174	0.0151	0.0167	0.0117	0.0201	0.0927
Capacidade do Graneleiro (L)	0.0150	0.0176	0.0176	0.0172	0.0150	0.0208	0.1032
Total	0.1586	0.1695	0.1731	0.1628	0.1662	0.1697	1

Fonte: Autores (2023)

Diante a análise realizada e por considerar critérios que lidam com a preferência subjetiva do decisor, a colheitadeira de grão de melhor desempenho na avaliação no método AHP foi a Case-IH – AXIAL-FLOW 9250 como mostra a Figura 13 com uma pontuação de 0,1731. Seguido pela Fendt – IDEAL 9 com 0,1697 e na terceira posição ficou a New Holland – CR 10.90.

Figura 13 – Resultado Final do AHP



Colheitadeiras (AHP)

Alternativa	Pontuação Obtida
AXIAL-FLOW 9250	0.1731
IDEAL 9	0.1697
CR 10.90	0.1695
BC 7800	0.1662
S790	0.1628
MF 9895	0.1586

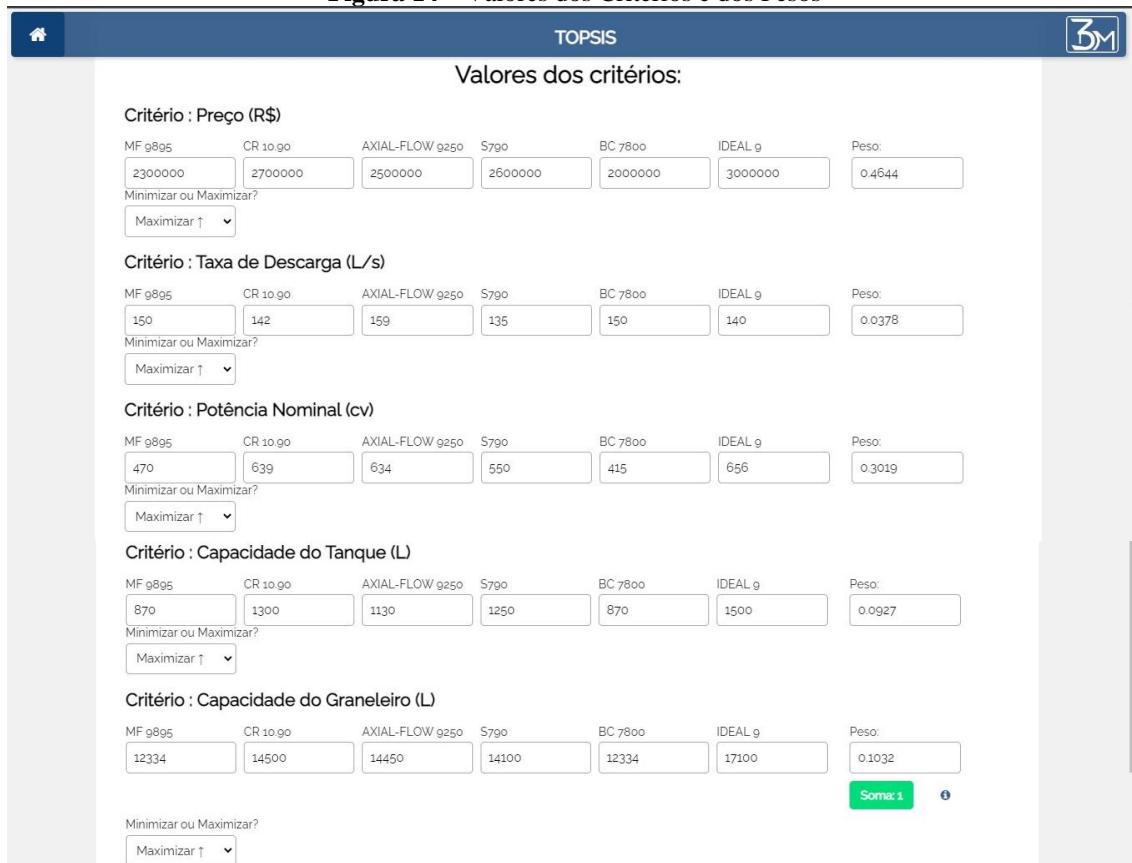
Fonte: Autores (2023)

4.2. Aplicação do TOPSIS

Para a aplicação do método TOPSIS, foi utilizado o Software já citado anteriormente no tópico do AHP. Para começar a aplicação são definidos os mesmos critérios e alternativas que foram apresentados nas Figuras 9 e 10.

Prosseguindo com a estruturação do problema, a Figura 14 mostra os critérios quantitativos utilizados para interpolar a magnitude da base, pertencente a cada alternativa em um determinado critério, o tipo de função generalizada a ser selecionada e os pesos encontrados para cada critério a partir das relações de preferência por meio escala de Saaty.

Figura 14 – Valores dos Critérios e dos Pesos



Fonte: Autores (2023)

Na Figura 15 está apresentado os resultados dos cálculos da proximidade relativa em relação à solução ideal, mostrando a medida de separação – ou distância euclidiana – D^+ , ou seja, a distância entre S^+ e a pontuação de cada indicador em cada índice. Já a medida de separação D^- está representando a distância entre S^- e a pontuação de cada indicador em cada índice. Por fim os valores de D^+ e D^- , chegou-se ao resultado do cálculo do coeficiente RS.

Figura 15 – Desempenho das Alternativas



Colheitadeiras (TOPSIS)
Resultado da Normalização

	D+	D-	RS	
				D+ : Distância para a solução ideal positiva. D- : Distância para a solução ideal negativa. RS : Proximidade relativa.
MF 9895	0.0524	0.0537	0.5062	
CR 10.90	0.0534	0.0557	0.5102	
AXIAL-FLOW 9250	0.0403	0.0614	0.6038	
S790	0.0519	0.0439	0.4585	
BC 7800	0.0578	0.0748	0.5639	
IDEAL 9	0.0748	0.0578	0.4361	

Fonte: Autores (2023)

Concluindo a análise realizada na plataforma online e considerando os critérios para lidar com as preferências do decisor, a colheitadeira de grãos que teve melhor desempenho na avaliação do método TOPSIS foi a Case-IH – AXIAL-FLOW 9250 com pontuação de 0,6038 conforme demonstrado na Figura 16. Seguiu-se na segunda posição a Valtra – BC 7800 obtendo 0,5639 pontos e em terceiro lugar ficou novamente a New Holland – CR 10,90 com uma pontuação de 0,5102.

Figura 16 – Resultado Final do TOPSIS
Resultado Final

Alternativa	Pontuação Obtida
AXIAL-FLOW 9250	0.6038
BC 7800	0.5639
CR 10.90	0.5102
MF 9895	0.5062
S790	0.4585
IDEAL 9	0.4361

Fonte: Autores (2023)

Os dois métodos apresentaram o mesmo resultado na primeira e terceira colocação, porém na segunda colocação foi diferente no AHP ficou a Fendt – IDEAL 9 e no TOPSIS a Valtra – BC 7800, isso se deu devido a maior peso ter sido o preço e que foi minimizado no TOPSIS, fez com que a BC 7800 ficasse em vantagem sobre IDEAL 9, que tem um preço bem mais elevado do que a Fendt. Já no AHP, a IDEAL ficou em segundo pois na comparação dos

outros critérios na escala de Saaty, ela possui mais qualificação nos números levando vantagem superior à BC 78000.

5. Considerações Finais

A pesquisa desenvolvida teve por objetivo, estar apresentando um caso em que a aplicação de dois métodos de Apoio Multicritério à Decisão pode ter alto impacto para o Agronegócio do Brasil, com a ordenação de colheitadeiras utilizadas na colheita de grãos.

Mais uma vez os métodos AHP e TOPSIS, mostraram 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 na qual foi feita as aplicações, apresentou sua robustez entregando resultados de forma estruturada e com 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 colheitadeiras são as mais favoráveis em uma aplicação eficiente e eficaz em suas operações de colheitas nas grandes áreas de plantios de grãos.

REFERÊNCIAS

BOZZA, Gabriel; RUY, Milena Mayara; SANTOS, Marcos dos; MOREIRA, Miguel Ângelo Lellis; ROCHA JUNIOR, Claudio de Souza; GOMES, Carlos Francisco Simões; Three Decision Methods (3DM) Software Web (v.1). 2020.

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

DA COSTA, L.; JUNIOR, A. Uma metodologia para a pré-seleção de ações utilizando o método multicritério TOPSIS. **XLV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional,[online]**, p. 518-529, 2013.

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).

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

Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). **Methods for multiple attribute decision making**. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58–191). Springer.

MIRANDA, Luiz Miguel. **Contribuição a uma modelo de análise multicritério para apoio à decisão da escolha do corredor de transporte para escoamento da produção de granéis agrícolas de Mato Grosso**. 2008. 272 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.



XI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

“A Engenharia de Produção no contexto das organizações “Data Driven”.”
Campina Grande, Paraíba, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2023.

SANTOS, M.; MOURÃO, C. N.; WALKER, R. A.; MARTINS, E. R. 2019. **Hierarquização de sistemas ERP para uma empresa vendedora de automóveis utilizando o método AHP.**