

<https://doi.org/10.12662/2359-618xregea.v15i1.6135.pe6135.2026>



## ARTIGOS

### MODELO MATEMÁTICO APLICADO À SELEÇÃO DE BIOFÁBRICAS

#### MATHEMATICAL MODEL APPLIED TO THE SELECTION OF BIOFACTORIES

## RESUMO

Biofábricas *on farm* permitem a produção própria de bioinsumos agrícolas para utilização em lavouras, reduzindo custos, risco de poluição ambiental e contaminação dos solos. A seleção do modelo de biofábricas para produção de bactérias e fungos, com o intuito de melhorar a produção agrícola, requer uma tomada de decisão que envolve diversas alternativas e critérios, tornando o processo decisório complexo. O objetivo deste trabalho é criar um modelo de decisão multicritério para ranquear os tipos de biofábrica ideais para a produção de bactérias e fungos em uma fazenda produtora de mangas. Para obter o ranqueamento, o método utilizado foi o *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS). A matriz de decisão para o problema foi construída com nove critérios e três alternativas. A ordem de ranqueamento resultou na proposta da alternativa 1 com índice de 0,805 como sendo o modelo ideal de biofábrica para a produção dos bioinsumos, considerando os critérios qualiquantitativos. Conclui-se que o trabalho foi importante no ranqueamento para a tomada de decisão, trazendo a possibilidade da avaliação das alternativas sob a ótica de diferentes critérios. Os resultados encontrados e expostos no estudo contribuem para o aprofundamento dos critérios utilizados em seleções de biofábricas. Para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar os critérios relacionados às condições ideais de cada tipo de produção microbiológica, bem como aumentar o número de alternativas analisadas. Além disso, sugere-se realizar uma análise comparativa entre o método TOPSIS e outros modelos de tomada de decisão multicritério, como WASPAS e MOORA, a fim de avaliar possíveis diferenças nos resultados e na robustez das decisões obtidas.

**Palavras-chave:** agricultura; bioinsumos; TOPSIS.

## ABSTRACT

On-farm biofactories allow the production of agricultural bioinputs for use in crops, reducing costs, the risk of environmental

**Jackson Wallece Oliveira Silva**  
[jackwalcos@gmail.com](mailto:jackwalcos@gmail.com)  
*Graduando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Vale do São Francisco. Petrolina - PE - BR.*

**Thiago Magalhães Amaral**  
[thiago.magalhaes@univasf.edu.br](mailto:thiago.magalhaes@univasf.edu.br)  
*Engenheiro Biomédico, Mestre e Doutor em Engenharia de Produção na área de Pesquisa Operacional formado pela Universidade Federal de Pernambuco. Professor Associado III da Universidade Federal do Vale do São Francisco. Professor do Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação (PROFNIT-Univasf). Petrolina - PE - BR.*

**Lúcia de Oliveira Lima**  
[lucia.oliveira@sweetfruits.com.br](mailto:lucia.oliveira@sweetfruits.com.br)  
*Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal da Paraíba. Professora substituta do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, campus Floresta. Petrolina - PE - BR.*

**Pedro Vieira Souza Santos**  
[pedrovieirass@hotmail.com](mailto:pedrovieirass@hotmail.com)  
*Mestre em Engenharia de Produção (UFPE). Professor da Faculdade Uninassau Petrolina. Petrolina - PE - BR.*

pollution, and soil contamination. The selection of the biofactory model to produce bacteria and fungi to improve agricultural production requires decision-making that involves several alternatives and criteria, making the decision-making process complex. The objective of this work is to create a multicriteria decision model to rank the ideal types of biofactories to produce bacteria and fungi on a mango farm. To obtain the ranking, the method used was the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). The decision matrix for the problem was constructed with nine criteria and three alternatives. The ranking order resulted in the proposal of alternative 1 with an index of 0.805 as the ideal biofactory model to produce bioinputs, considering qualitative and quantitative criteria. It is concluded that the work was important in the ranking for decision-making, bringing the possibility of evaluating the alternatives from the perspective of different criteria. The results found and presented in the study contribute to a deeper understanding of the criteria used in the selection of biofactories. For future work suggestions, more criteria related to the ideal conditions for each type of microbiological production can be explored, increasing the number of alternatives and comparing TOPSIS with other decision models, such as WASPAS and MOORA.

**Keywords:** agriculture; bioinputs; TOPSIS.

## 1 INTRODUÇÃO

A gestão adequada de insumos e suas aplicações no campo configuram-se como importante fator de sustentabilidade das operações (Sá *et al.*, 2026). Apresentando-se como uma importante tecnologia de impacto na agricultura, as biofábricas são unidades industriais que produzem seres vivos em larga escala, possibilitando a produção de alto valor agregado e com baixo custo (Soares; Menezes Filho; Ventura, 2023).

O controle biológico tornou-se uma

alternativa importante para o controle de pragas e doenças e é uma das soluções biotecnológicas que possibilitam avanço econômico sustentável (Bettiol; Medeiros, 2023). Ele pode ser definido como o uso de organismos vivos para suprimir a população de uma praga ou doença específica, tornando-a menos abundante ou menos danosa (Monnerat *et al.*, 2020).

Nesse sentido, a produção “*on farm*” de microrganismos consiste na produção, em propriedade rural, de defensivos agrícolas formulados por meio de organismos biológicos, para uso e aplicação na lavoura (Hardoim *et al.*, 2020). Dessa forma, a utilização de bactérias, assim como de fungos, e dos metabólitos microbianos para o controle de doenças de plantas ganha, cada vez mais, espaço entre pequenos, médios e grandes produtores preocupados com a crescente demanda mundial por alimentos livres de resíduos químicos (Melo *et al.*, 2021).

Em uma fazenda localizada em Petrolina – PE, produtora de manga – existe a necessidade de se escolher qual biofábrica é o modelo ideal para produção *on farm* a fim de se produzir bactérias e fungos para melhorar a produção da manga. Este problema real envolve diferentes formas de produção de bioinsumos, assim como múltiplos critérios que tornam a análise complexa para ser resolvida por métodos tradicionais.

O problema também está associado ao desenvolvimento de um modelo de decisão para a escolha de um sistema de biofábrica, que auxiliaria na redução de custos, na melhoria da qualidade do produto e, conseqüentemente, protegendo o meio ambiente. Diante do que foi exposto, surge a seguinte indagação: como um modelo de decisão pode ajudar a avaliar sistemas comerciais de biofábrica *on farm* para a produção de bioinsumos para um grande produtor de mangas no Vale do São Francisco considerando critérios quali-quantitativos?

O controle biológico com entomopatógenos (fungos, vírus, bactérias, nematoides e protozoários) é uma técnica que se tem destacado, principalmente, por economizar custos se comparada com outros

tipos de controle (Fontes; Valadares-Inglis, 2020). O resultado de sua utilização é prolongado, causando a redução do risco de poluição ambiental e contaminação dos solos, além de não possuir um risco para os produtores e consumidores, pois não gera resquícios posteriores no alimento (Santos; Dinna; Feitoza, 2020). Além disso, a pressão por uma agricultura mais sustentável trouxe a necessidade do desenvolvimento de melhores tecnologias e métodos para o controle biológico de pragas, almejando a redução de produtos químicos, mas mantendo a eficácia (Fernandes, 2019).

Nesse contexto, o investimento na produção microbiológica no Vale do São Francisco surge como um grande potencial, pois a região lidera a produção de mangas, o que vem gerando um grande impacto socioeconômico para a região (Guaraldo; Reynol, 2022). Segundo o Observatório do Mercado da Manga da Embrapa, as exportações de manga brasileira atingiram marcas históricas em 2023, gerando um faturamento de aproximadamente US\$ 315 milhões, sendo esta região responsável por mais de 90% da produção, especialmente Bahia (47,36%) e Pernambuco (45,42%) (Birolo, 2024).

Os métodos de Análise de Decisão Multicritério ou *Multiple Criteria Decision Analysis* (MCDA) são empregados quando o problema envolve grande número de critérios na avaliação de alternativas (Watrobski *et al.*, 2019; Cinelli *et al.*, 2020). Existem alguns estudos sobre aplicações dos métodos MCDA para agricultura ou agroindústria (Dragincic; Korac; Blagojevicbl, 2015; Yalaw; Griensven; Zaag, 2016; Fabjanowicz *et al.*, 2018; Paul *et al.*, 2020; Ustaoglu; Simasn; Avdinoglu, 2021; Souza *et al.*, 2022; Amaral *et al.*, 2023; Amaral; Santos; Santos, 2023; Melo; Amaral; Leao, 2023; Lessa *et al.*, 2024). No entanto, publicações sobre a seleção de biofábricas não foram relatadas na literatura, tornando este trabalho único.

Assim, os métodos de MCDA avaliam alternativas de acordo com as preferências do decisor, aumentando a credibilidade da seleção ou ordenação por considerar múltiplos critérios (Ostovare; Shahraki, 2019). Para a modelagem

da decisão multicritério, foi escolhido o método *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), que se baseia na premissa fundamental de que a melhor solução tem a menor distância da solução ideal positiva, e a maior distância do ideal negativo (Król; Więckowski; Wątróbski, 2022). Sua escolha foi a que se adaptou melhor ao estudo, visto que a aplicação do TOPSIS é simples e requer uma especificação sobre os pesos do tomador de decisão por determinados atributos (Chakraborty, 2022).

Dessa forma, o presente estudo visa criar um modelo de decisão multicritério baseado no método TOPSIS para ranquear os modelos de biofábrica disponíveis no mercado para a produção de bactérias e fungos em uma fazenda produtora de mangas. Como objetivos específicos, foram definidos: escolher o método MCDA mais adequado à realidade da empresa; definir critérios pertinentes ao problema, assim como os respectivos pesos; enumerar alternativas e apontar as melhores opções após validação do modelo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO E FASES DO ESTUDO

O estudo é caracterizado como sendo de natureza descritiva, pois busca estabelecer um processo decisório na seleção de um sistema de biofábrica (Corrente; Tasiou, 2023). Apresenta uma abordagem qualitativa e quantitativa, dado que a utilização do MCDA implica que o tomador de decisão selecione subjetivamente/objetivamente os valores da matriz de decisão, bem como o peso dos critérios de avaliação (Xie; Zhang, 2023).

O trabalho utiliza, como meio, um estudo de caso, que examina um fenômeno atual inserido no contexto da vida real e é um caso único delimitado por um cenário específico de uma empresa. Uma limitação deste estudo foi sua aplicação restrita a uma única empresa e a um único(a) decisor(a), sendo, neste caso, avaliado

pela engenheira agrônoma da fazenda, responsável pela implantação da biofábrica. A coleta dos dados aconteceu em fevereiro de 2023.

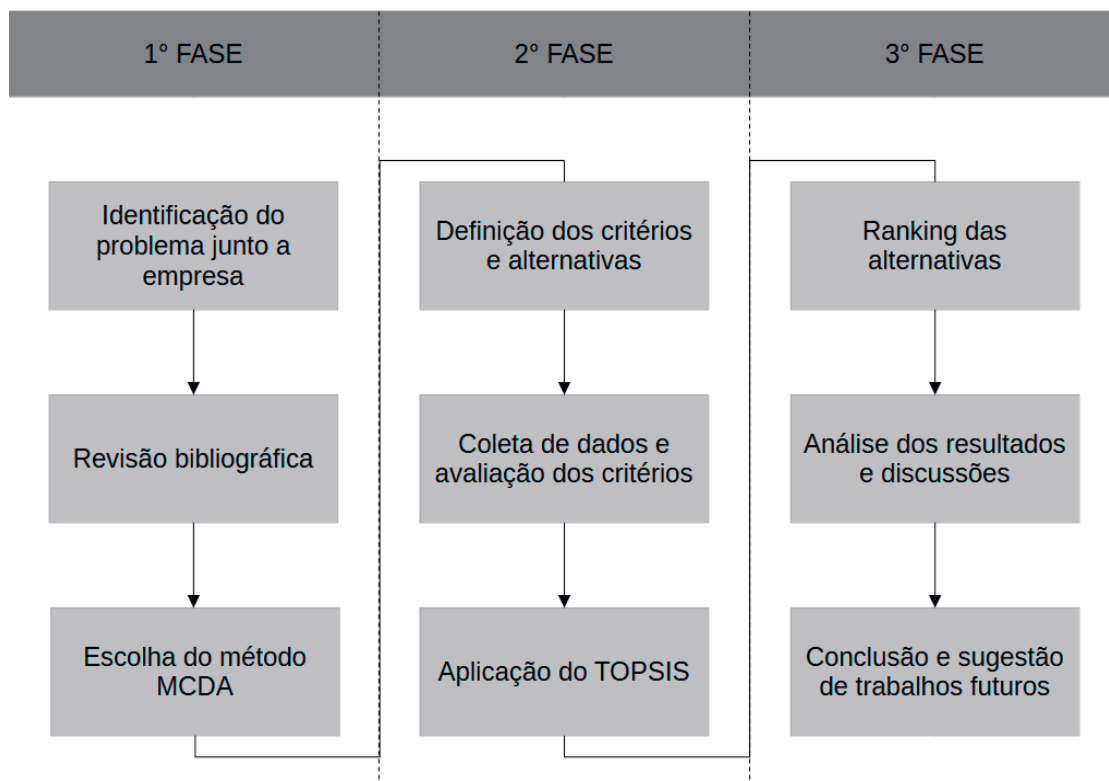
A pesquisa foi realizada em 3 fases (com 3 etapas cada uma) conforme apresenta a figura 1. Na primeira fase, foi identificado o problema a ser solucionado junto à empresa. Em seguida, foi feita uma pesquisa bibliográfica para embasamento e contextualização do trabalho, buscando, também, entender qual o melhor método que se adequava ao problema. Foi identificado que o melhor modelo de MCDA que se enquadrava foi o TOPSIS, pois se tratava de uma avaliação compensatória.

A fase 2 iniciou-se com a definição dos critérios e alternativas junto à decisora para criação da matriz de decisão. A coleta dos dados quantitativos, para preenchimento da matriz, foi realizada por meio dos documentos fornecidos pelas empresas produtoras dos sistemas de biofábricas mediante cotações com especificações técnicas e preços.

Para os dados qualitativos, foi realizada a entrevista com a decisora, utilizando-se da escala Likert de 5 pontos, sendo ela: muito importante (5), importante (4), razoavelmente importante (3), pouco importante (2), sem importância (1). Para a aplicação do método TOPSIS, foi executada normalização das matrizes de decisão; ponderação das matrizes; definição das soluções ideais (positiva e negativa); cálculo das distâncias ideais de cada alternativa e cálculo do coeficiente de proximidade relativa. Todos os cálculos foram realizados no Microsoft Excel e apresentados à decisora para fins de validação.

A fase 3 iniciou-se com o *ranking* das alternativas, mostrando quais alternativas de biofábricas seriam as mais indicadas pelo modelo, seguido da análise dos resultados e discussões. Por fim, a última etapa mostrará a conclusão e as sugestões para trabalhos futuros.

Figura 1 - Fases da pesquisa



Fonte: (autores, 2025).

## 2.2 MÉTODO TOPSIS

O método TOPSIS, desenvolvido por Hwang e Yoon (1981), é uma técnica de avaliação de performances de alternativas que busca avaliar a distância em relação a uma solução ideal positiva (os melhores resultados possíveis de cada alternativa) e a uma solução negativa (os piores resultados dentre as opções), por meio de uma “taxa de similitude” (Yang; Chen, 2023).

Assim, após criar as soluções positivas e negativas, é feito o ranqueamento das alternativas, sendo a melhor aquela mais próxima da solução ideal e mais distante da não ideal (Pandey; Chakraborty, 2023). De acordo com Tedesco, Oliveira e Trojan (2021), o algoritmo do TOPSIS é descrito nas seguintes etapas:

1ª etapa: coleta das medidas de desempenho em cada atributo das  $m$  alternativas, organizando-as em uma matriz de decisão como descrita a seguir

$$A = [x_{ij}]_{m \times n}; i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (1)$$

2ª etapa: normalização da matriz para que os dados apresentem a mesma grandeza e possam ser combinados, calcula-se:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}; i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (2)$$

3ª etapa: ponderação da matriz normalizada, após definição dos pesos realizada em entrevista com a decisora, é realizada a multiplicação do valor normalizado ( $r_{ij}$ ) pelo seu respectivo peso ( $w_j$ ).

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad (3)$$

4ª etapa: determinação da solução ideal positiva e negativa, por meio das equações:

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\} = \{(\max_i v_{ij} | j \in J_1), (\min_i v_{ij} | j \in J_2) | i = 1, \dots, m\} \quad (4)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} = \{(\min_i v_{ij} | j \in J_1), (\max_i v_{ij} | j \in J_2) | i = 1, \dots, m\} \quad (5)$$

5ª etapa: cálculo das distâncias positiva e negativa ideais:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^+)^2} \quad (6)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad (7)$$

6ª etapa: cálculo do coeficiente da proximidade relativa, obtendo o coeficiente C ou resultado da aproximação da situação ideal:

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (8)$$

## 2.3 CRITÉRIOS

Os critérios podem ser pensados como eixos que orientam a avaliação do decisor, permitem a comparação entre alternativas e representam um objetivo, podendo ser divididos em atributos diretos ou indiretos (Leão *et al.*, 2020). Desse modo, para a seleção do sistema de biofábrica para produção *on farm* de biofertilizantes, foram escolhidos critérios referentes à qualidade da produção, à estrutura do sistema para garantir a qualidade da produção, os custos e os parâmetros de produção.

Os critérios selecionados para este trabalho foram baseados nos trabalhos referentes a sistemas de biofábricas encontrados na literatura (Lopes; Paixão; Cruz, 2018; Abrunhosa, 2019; Santos; Dinnas; Feitoza, 2020; Monnerat *et al.*, 2020; Nogueira, 2021; Turco; Paiva, 2021; Oliveira Júnior, 2021; Amaral, 2022). O quadro 1 mostra a descrição dos critérios com escala e polaridade.

Quadro 1 - Descrição dos critérios com escala e polaridade

Critério	Descrição	Escala	Polaridade
C <sub>1</sub> : Tratamento de água	Existência ou não de sistema de tratamento de água	Sim/não (1/0)	Max
C <sub>2</sub> : Controle de temperatura	Existência ou não de controle de temperatura	Sim/Não	Max
C <sub>3</sub> : Meios de cultura	Quantidade permitida de utilização de meios de cultura	Numérica	Max
C <sub>4</sub> : Automação	Há existência de 3 processos automatizados: total da aeração, ozonização e temperatura	Sim/Não	Max
C <sub>5</sub> : Visualização de Indicadores do Sistema	O sistema permite ou não a visualização de indicadores durante o processo de produção (temperatura, Ph, aeração)	Sim/Não	Max
C <sub>6</sub> : Sanitização	Possui facilidade para limpeza em caso de troca de produção	Likert - 5 pontos	Max
C <sub>7</sub> : Volume de Produção	Volume de produção do sistema	Numérica	Max
C <sub>8</sub> : Assistência técnica	Existe ou não de assistência técnica por parte da empresa contratada	Sim/Não	Max
C <sub>9</sub> : Custo de Aquisição	Custo de aquisição do sistema de biofábrica (em reais)	Numérica	Min

Fonte: (autores, 2024).

## 2.4 ALTERNATIVAS

Inicialmente, foram selecionadas para o estudo cinco empresas que produzem sistemas de biofábrica comerciais para produção *on farm* de bioinsumos, contudo apenas três apresentaram as cotações e as especificações técnicas necessárias para dar segmento ao estudo. Para preservar o anonimato das empresas consultadas, as alternativas foram identificadas como.

### 3 RESULTADO E DISCUSSÃO

As especificações técnicas sobre os sistemas de biofábricas foram obtidas por meio do contato com as empresas e com os consultores, preenchendo-se grande parte da matriz de decisão. Apenas a avaliação das alternativas, segundo o critério de Sanitização ( $C_6$ ), foi feito pela decisora, utilizando-se a escala Likert de 5 pontos. Diante disso, obteve-se a matriz de decisão (tabela 1).

Tabela 1 - Matriz de decisão de sistema de biofábrica

Alternativas	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$
<b>Pesos</b>	0,1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,5	0,2	0,02	0,1
$A_1$	1	1	3	1	1	4	3200	1	170000
$A_2$	0	0	1	0,5	0	2	4000	0,5	110000
$A_3$	0	0,5	3	0,5	0	3	2000	0,5	75279

Fonte: (autores, 2025).

Em reunião com a decisora, também foram estabelecidos os pesos dos critérios (tabela 1), e, em seguida, foi realizada a normalização. Deve-se destacar que os pesos relacionados aos critérios obedecem ao contexto da organização analisada, ou seja, com base nas necessidades internas expostas pela gestão local, pôde-se alinhar os valores de cada peso. Observa-se que o critério de Sanitização teve um destaque maior (0,5), visto ser o principal fator que influencia na produção dos bioinsumos (Diniz, 2021). O segundo critério com maior peso foi o volume da produção (0,2), pois, por se tratar de um grande produtor de manga, um alto volume seria necessário para atender às operações da fazenda.

Além disso, o tratamento da água obteve um peso mais significativo (0,1) por apresentar um dos fatores fundamentais para uma boa produção de microrganismos. O custo de aquisição também foi um fator de destaque para a empresa (0,1). Os critérios de menor peso apresentaram os mesmos valores (0,02), sendo eles: controle de temperatura, meios de cultura, automação e assistência técnica.

Com os pesos dos critérios estabelecidos, foi elaborada a matriz ponderação. Em seguida, foram determinadas a separação de soluções ideais positivas e negativas (tabela 2) e as medidas de separação (tabela 3). Por fim, a solução ótima foi encontrada fazendo a classificação do índice de desempenho (tabela 4).

O ranqueamento das alternativas demonstra que o sistema de biofábrica *on farm* da alternativa  $A_1$  é o mais adequado em comparação com as outras. Ela apresenta um grande destaque no critério de maior peso (Sanitização), também sendo a única alternativa que possui um sistema de tratamento de água. Esta mesma alternativa apresentou o segundo maior volume de produção e foi o sistema mais caro, contudo, por ter grandes vantagens em outros critérios de igual ou superior peso, a alternativa manteve-se em posição de destaque.

A segunda opção é a alternativa  $A_3$ , sendo uma possibilidade de escolha que se destaca pelo preço de aquisição e por possuir uma boa sanitização. Contudo, apresentou um baixo volume de produção e não possui um sistema de tratamento de água. Por último, estaria a alternativa  $A_2$  que apresentou um baixo índice em comparação com as outras, destacando-se apenas no critério “volume”.

Tabela 2 - Soluções ideais positivas e negativas

Ideal	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$
<b>Positivo</b>	0,100	0,018	0,014	0,016	0,020	0,371	0,145	0,016	0,035
<b>Negativo</b>	0,000	0,000	0,005	0,008	0,000	0,186	0,073	0,008	0,079

Fonte: (autores, 2025).

Tabela 3 - Medidas de Separação

Solução Ideal Positiva	Solução Ideal Negativa
$S_1^+$	$S_1^-$
$S_2^+$	$S_2^-$
$S_3^+$	$S_3^-$

Fonte: (autores, 2025).

Tabela 4 - Classificação do Índice de Desempenho

Alternativa	Índice de desempenho	Ranking
$A_1$	0,805	1º
$A_2$	0,267	3º
$A_3$	0,398	2º

Fonte: (autores, 2025).

Após finalização da classificação, foram realizadas análises de cenários para avaliar a robustez do resultado final com sete cenários diferentes com base em mudanças nos pesos dos critérios. É possível mapear o desempenho de cada alternativa com respeito à variação dos pesos dos critérios, sendo possível demonstrar as mudanças nas classificações das alternativas de sistemas de biofábrica com diferentes cenários para TOPSIS. No geral, foram mantidos os pesos atribuídos pela decisora, alterando apenas os pesos de alguns critérios, daqueles tidos como mais importantes, os cenários utilizados foram os seguintes:

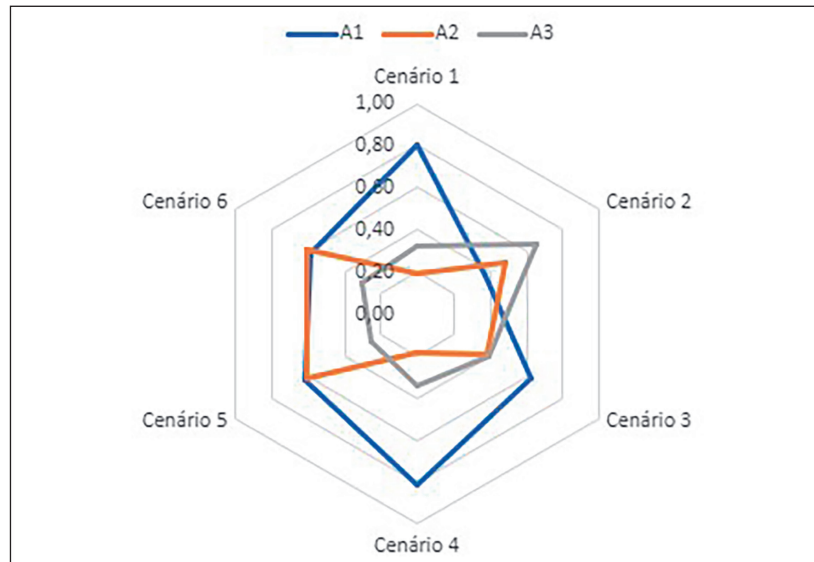
- no primeiro cenário, todos os pesos têm o mesmo valor de 0,11;
- no segundo cenário, o custo de aquisição tem o maior valor 0,5. Diminuindo o peso da sanitização para 0,2 e o peso do volume de produção para 0,1;
- no terceiro cenário, o volume de produção, a sanitização e custo apresentam o mesmo valor de 0,25. O tratamento de água apresenta peso de 0,15;
- no quarto cenário, o custo de aquisição apresenta o maior peso 0,4 e os critérios de sanitização e volume de produção apresentam valor igual a 0,2;
- no quinto cenário, o volume de produção apresentou o valor maior de 0,5 e os critérios de sanitização e custo foram igualados em 0,15;
- No cenário 6, o volume de produção se manteve como maior valor 0,5. O critério de sanitização foi alterado para 0,1 e o custo para 0,2.

A figura 2 demonstra as variações na classificação das alternativas de acordo com os cenários estabelecidos. A cor azul representa a alternativa  $A_1$ , a cor laranja a alternativa  $A_2$  e a cor cinza a alternativa  $A_3$ . Os resultados demonstram que, ao atribuir pesos diferentes aos critérios, provocam-se mudanças nas classificações das alternativas, sendo as que tiveram um maior impacto de influência sobre o modelo, foram os critérios de Sanitização, Volume de produção e Custo de aquisição. A alternativa  $A_1$  manteve-se como a favorita nos cenários 1, 3, 4 e 5, mas nas alternativas em que o custo de aquisição e volume de produção tiveram um peso maior ela caiu na

classificação. No cenário 2, em que o foco foi o peso de custo, a alternativa na primeira colocação foi a  $A_3$ . Já no cenário 6, em que o volume foi o critério com maior peso, seguido do custo de aquisição, a primeira alternativa foi a  $A_2$ .

Os resultados mostram que os métodos propostos estabelecem resultados robustos e confiáveis. A diferença do índice de desempenho entre a primeira colocada e as demais alternativas se mostrou muito grande, pois a alternativa  $A_1$  apresentava disparidade em relação às outras nos critérios mais importantes.

Figura 2 - Análise de Cenários



Fonte: (autores, 2025).

Este trabalho utilizou uma ponderação normal de critério. Porém Cotian, Colmenero e Braghini Junior (2020), apesar de utilizar o TOPSIS, apresenta outra metodologia para a definição dos pesos dos critérios: a ponderação por Entropia. Esta ponderação busca classificar e selecionar defensivos agrícolas, destacando a utilização de uma alternativa para evitar tendências de viés por trás de uma decisão que apresenta fatores socioambientais sensíveis. Ele concluiu que todos os critérios foram levados em consideração ao ponderar, onde, muitas vezes quando há a opinião do decisor, o custo pode ser o fator preponderante na compra do defensivo.

Quando se trata de um sistema de biofábrica, o custo pode parecer um fator que irá predominar diante dos outros critérios, contudo é importante destacar que, mesmo havendo uma variação em relação ao peso dos critérios, alguns irão se destacar por serem fundamentais para garantir uma produção de qualidade. A existência de tratamento de água nos sistemas, uma alta sanitização, grande volume e um baixo custo foram os fatores mais determinantes para a escolha, contudo o TOPSIS é um método compensatório e os demais critérios também exercem uma influência sobre o índice final.

Diante disso, em outros contextos, o fator econômico, muitas vezes, exerce grande influência na aquisição de uma biofábrica, como apontado por Lopes (2021), em que foi apresentada uma alternativa viável e rentável para esta mesma região de estudo, com o custo do investimento inicial sendo pago em poucos meses de funcionamento e com um faturamento mensal. Em comparação a Lopes (2021), que destacou como ponto principal de decisão o fator econômico, este presente estudo considera múltiplos critérios para avaliar alternativas de acordo com as preferências do

decisor, além do fator econômico, permitindo incorporar subjetividade de maneira estruturada, utilizando pesos e pontuações. Dessa forma, contribui quando as decisões são complexas, envolvem diversos critérios e variáveis e exigem uma abordagem estruturada para considerar as preferências e opiniões dos tomadores de decisão (Forcina *et al.*, 2024).

É importante destacar que, caso a produção *on farm* seja feita de forma indevida, pode-se chegar a uma insegurança biológica. Esses sistemas requerem controle, higiene e esterilização que, se não forem realizados adequadamente, podem resultar na multiplicação de outros microrganismos de não interesse, ou mesmo de microrganismos patogênicos (Amaral, 2022). Santos, Dinnas e Feitoza (2020) avaliou a qualidade microbiológica dos multiplicados produzidos incorretamente no sistema *on farm*.

Nesse trabalho, foram analisados o pH, a quantidade total de bactérias heterotróficas, coliformes totais, coliformes termotolerantes, análise macro e microscópica e presença de *Salmonella sp* e as análises mostraram contaminação em 100% das amostras. Por isso, é importante destacar que o presente estudo levou em consideração os critérios baseados nos padrões de qualidade que um sistema de biofábrica de produção *on farm* deve apresentar.

Além disso, é importante ressaltar que o uso correto das biofábricas é uma das opções para a indústria proteger o meio ambiente, pois, conforme Miguel e Daniela (2023), promovem a sustentabilidade, a manutenção e o equilíbrio biótico, ajudando produtores e consumidores a minimizarem os efeitos nocivos da produção sobre a fauna e flora local e mundial (Miguel; Daniela, 2023).

Na busca por alternativas de modelos comerciais, apesar de existir uma maior procura pela adoção de biofábricas *on farm* (Abrunhosa, 2019), observou-se que existem poucas empresas especializadas na implantação desses sistemas. Dessa forma, aquelas que estão presentes no mercado

apresentam uma grande disparidade sobre as questões de custos e benefícios que oferecem no seu produto, sendo que algumas conseguem realizar uma oferta melhor em relação às outras, considerando os diversos critérios apontados neste trabalho.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da decisora permitiu estabelecer um ranqueamento das alternativas selecionadas por meio de nove critérios, possibilitando entender quais são os mais adequados para a avaliação de biofábricas. Diante disso, o objetivo de ranquear o modelo de biofábrica *on farm* ideal para a produção de bioinsumos em um grande produtor de manga no Vale do São Francisco foi alcançado de forma eficaz.

O trabalho contribuiu para a escolha do modelo de biofábrica na fazenda, objeto desta pesquisa para que ela pudesse produzir os próprios insumos biológicos, permitindo melhorar processos produtivos com redução de custos, aumento da qualidade do produto e com uma maior sustentabilidade ao plantio, promovendo melhoria do solo. Os resultados obtidos contribuíram para a literatura relacionada à implementação de sistemas de biofábricas, trazendo uma visão baseada em MCDA, tendo em vista que é uma prática que vem crescendo nas empresas por apresentar diversos benefícios.

Para sugestões de trabalhos futuros, recomenda-se que haja mais critérios ligados às características de produção microbiológica específicas para fungos, bactérias ou agentes biológicos. Além disso, podem ser feitos levantamentos de mais alternativas de sistemas de biofábricas para trazer um maior dinamismo para as análises entre as alternativas. Também, pode ser realizado um estudo comparativo com outros métodos de decisão multicritério, como o *Weighted Aggregated Sum Product Assessment* (WASPAS), e o *Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis* (MOORA) para ter uma análise mais profunda dos critérios estabelecidos.

## REFERÊNCIAS

- ABRUNHOSA, L. S. **Avaliação da contaminação de meios de cultura utilizados para produção “on farm” de bioinseticida**. 2019. 48 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Farmácia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/28524/1/2019\\_LeticiaSantosAbrunhosa\\_tcc.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/28524/1/2019_LeticiaSantosAbrunhosa_tcc.pdf). Acesso em: 10 fev. 2026.
- AMARAL, T. M.; BELEM, M. M.; AMARAL, F. M.; PEREIRA, A. F. C. Avaliação de carteira de produtos na agroindústria a partir da análise de decisão multicritério. **RAMA - Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 16, p. 1-23, 2023. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2023v16n2e10140>
- AMARAL, T. M.; SANTOS, H. R.; SANTOS, P. V. D. Seleção de variedade de Pitaya para implantação no Vale do São Francisco com auxílio da análise de decisão multicritério. **RAMA - Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 17, n. 1. 2023. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2024v17n1e11715>
- AMARAL, D. F. S. **Produção on farm de insumos biológicos no Brasil: Benefícios, Riscos e Tendências**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2022. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/36110/1/2022\\_DanielaFirminoSantanaAmaral\\_tcc.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/36110/1/2022_DanielaFirminoSantanaAmaral_tcc.pdf). Acesso em: 10 fev. 2026.
- BETTIOL, W.; MEDEIROS, F. H. V. Artigo: Como o Brasil se tornou o maior produtor e consumidor de produtos de biocontrole. **Embrapa**, Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/79156418/artigo-como-o-brasil-se-tornou-o-maior-produtor-e-consumidor-de-produtos-de-biocontrole>. Acesso em: 2 abr. 2025.
- BIROLO, F. Brasil bate recorde de receita e exportação com manga produzida no Nordeste. **Embrapa**, Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/87702249/brasil-bate-recorde-de-receita-e-exportacao-com-manga-produzida-no-nordeste?link=agencia>. Acesso em: 1 abr. 2025.
- CHAKRABORTY, S. TOPSIS and Modified TOPSIS: A comparative analysis. **Decision Analytics Journal**, [s. l.], v. 2, p. 100021, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2021.100021>
- CINELLI, M.; KADZINSKIA, M.; GONZALEZ, M.; SLOWINSKIAC, R. How to support the application of multiple criteria decision analysis? Let us start with a comprehensive taxonomy. **Omega**, [s. l.], v. 96, n. 102261, p. 102261, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102261>.
- CORRENTE, S.; TASIYOU, M. A robust TOPSIS method for decision making problems with hierarchical and non-monotonic criteria. **Expert Systems With Applications**, [s. l.], v. 214, n. 119045, p. 119045, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119045>.
- COTIAN, L. F. P.; COLMENERO, J. C.; BRAGHINI JUNIOR, A. Metodologia para seleção de defensivos agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 10., 2020, São Carlos, SP. **Anais [...]**. São Carlos, SP: UFSCar, 2020. Disponível em: [https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/arquivos/10102020\\_111016\\_5f81cc08bef58.pdf](https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/arquivos/10102020_111016_5f81cc08bef58.pdf). Acesso em: 10 fev. 2026.
- DINIZ, F. Embrapa divulga recomendações técnicas sobre a produção de bioinsumos on farm. **Embrapa**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/66275700/embrapa-divulga-recomendacoes-tecnicas-sobre-a-producao-de-bioinsumos-on-farm>. Acesso em: 2 abr. 2025.

- DRAGINCIC, J.; KORAC, N.; BLAGOJEVICBI, B. Group Multi-Criteria Decision Making (GMCDM) Approach for selecting the most suitable table grape variety intended for organic viticulture. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 111, p. 194-202, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.12.023>.
- FABJANOWICZ, M.; BYSTRZANOWSKA, M.; NAMIESNIK, J.; TOBISZEWSKI, M.; PLOTKA-WASYLKA, J. An analytical hierarchy process for selection of the optimal procedure for resveratrol determination in wine samples. **Microchemical Journal**, [s. l.], v. 142, p. 126-134, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.06.028>.
- FERNANDES, A. C. S. A. O pensamento agroecológico como quebra dos paradigmas da agricultura convencional. O crescimento do controle biológico no Brasil e o uso de defensivos químicos. **Terra Mundus**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 1-12, 2019. Disponível em: <https://publicacionescientificas.uces.edu.ar/index.php/terramundus/article/view/549/612>. Acesso em: 10 fev. 2026.
- FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. **Controle biológico de pragas da agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1121825>. Acesso em 10 fev. 2026.
- FORCINA, A.; SILVESTRI, L.; FELICE, F.; FALCONE, D. Exploring Industry 4.0 technologies to improve manufacturing enterprise safety management: a TOPSIS-based decision support system and real case study. **Safety Science**, [s. l.], v. 169, n. 106351, p. 106351, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106351>.
- GUARALDO, M. C.; REYNOL, F. Ciência e tecnologia tornaram o Brasil um dos maiores produtores mundiais de alimentos. **Embrapa**, Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/75085849/ciencia-e-tecnologia-tornaram-o-brasil-um-dos-maiores-produtores-mundiais-de-alimentos>. Acesso em: 2 abr. 2025.
- HWANG, C. L.; YONN, K. **Multiple attribute decision making: methods and applications**. Berlin: Springer-Verlag, 1981.
- HARDOIM, P.; MARTINS, E.; GÖRGEN, C.; GARCIA, R. Multiplicação de bactérias on farm. **Campo & Negócios**, [s. l.], v. 181, p. 28-32, 2020. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/multiplicacao-on-farm-demicrorganismos/>. Acesso em 10 fev. 2026.
- KRÓL, R.; WIĘCKOWSKI, J.; WĄTRÓBSKI, J. Accuracy of the TOPSIS Method with Different Input Data. **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 207, p. 4574-4583, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.09.521>.
- LEÃO, C. C. de S. *et al.* Seleção de material para ponteiras de bengalas de deficientes visuais com apoio do método TOPSIS. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, [s. l.], v. 17, n. 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4322/2176-1523.20202033>.
- LESSA, M. S. C. M.; AMARAL, T. M.; LEAO, P. C. S.; OLIVA, J. T. Multi-criteria decision analysis applied to Brazilian grapevine genotype selection. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s. l.], v. 130, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106126>.
- LOPES, S. R. **Estratégia de transferência de tecnologia para promover o controle biológico de insetos e pragas em áreas agrícolas**. 2021. 151 f. Tese (Doutorado em Inovação tecnológica e biofarmacêutica) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1144239>. Acesso em: 10 fev. 2026.
- LOPES, S. R.; PAIXÃO, M. A. S.; CRUZ, I. Viabilidade econômica de biofábrica de *Trichogramma pretiosum* para uso contra pragas agrícolas da ordem Lepidoptera. **Revista**

- iPecege**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 44-50, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1098105/viabilidade-economica-de-biofabrica-de-trichogramma-pretiosum-para-uso-contrapragas-agricolas-da-ordem-lepidoptera>. Acesso em: 10 fev. 2026.
- MELO, T. A.; NASCIMENTO, I. T. V. DA S. DO; SERRA, I. M. R. DE S. O gênero *Bacillus* aplicado ao controle biológico de doenças de plantas. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 9, p. e18110917817, 24 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.17817>.
- MELO, M. E. N.; AMARAL, T. M.; LEO, P. C. S. Practical method for table grape selection using multicriteria decision analysis. **Agroalimentaria**, [s. l.], v. 27, p. 199-212, 2023. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1161463>. Acesso em: 10 fev. 2026.
- MIGUEL, F. N.; DANIELA, B. T. Engineering microbial biofactories for a sustainable future. In: LOPES-CORREA, Catalina; SUAREZ-GONZALEZ, Adriana. **Genomics and the Global Bioeconomy**. [S. l.]: Elsevier, 2023. p. 25-58. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91601-1.00003-1>.
- MONNERAT, R.; MONTALVÃO, S. C. L.; MARTINS, E. S.; QUEIROZ, P. R.; SILVA, E. Y. Y.; GARCIA, A. R. M.; CASTRO, M. T. de; ROCHA, G. T.; FERREIRA, A. D. C. de L.; GOMES, A. C. M. M. **Manual de produção e controle de qualidade de produtos biológicos à base de bactérias do gênero *Bacillus* para uso na agricultura**. Brasília, DF: 2020. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia / Documentos, 369). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1122563>. Acesso em: 10 fev. 2026.
- NOGUEIRA, J. G. R. **Viabilidade de biofábrica de *Trissolcus basalis* e *Telenomus podisi* utilizando a estrutura da Unipampa Itaqui**. 2022. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal do Pampa, Itaqui, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/items/1076e945-1d45-468a-9fba-7aa85f35fbad>. Acesso em: 10 fev. 2026.
- OLIVEIRA JÚNIOR, F. V. **Acompanhamento da multiplicação *on farm* de bactérias promotoras de crescimento e sua eficiência na cultura do milho em empresa de bioinsumos no oeste da Bahia**. 2021. 43 p. Relatório de estágio supervisionado (Graduação em Bacharel em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/357aeb82-ec81-435d-b693-cea203c4a4b6>. Acesso em: 10 fev. 2026.
- OSTOVARE, M.; SHAHRAKI, M. R. Evaluation of hotel websites using the multicriteria analysis of PROMETHEE and GAIA: evidence from the five-star hotels of Mashhad. **Tourism Management Perspectives**, [s. l.], v. 30, 107-116, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2019.02.013>.
- PANDEY, V.; CHAKRABORTY, K. The TOPSIS method to identify the optimal machining condition with reduced particle emission during machining of the Al-Si based 1%SiC reinforced nanocomposite material. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 76, p. 341-345, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.383>.
- PAUL, M.; NEGAHBAN-AZAR, M.; SHIRMOHAMMADI, A.; MONTAS, H. Assessment of agricultural land suitability for irrigation with reclaimed water using geospatial multi-criteria decision analysis. **Agricultural Water Management**, [s. l.], v. 231, e105987, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105987>.
- SÁ, J. V. F.; SANTOS, P. V. S.; ARAÚJO, M. A.; SILVA, A. C. G. C. Planejamento de compras com MRP I para insumos sólidos na viticultura: um caso de estudo no Vale do São Francisco. **Agropampa: Revista de Gestão**

- do Agronegócio**, [s. l.], v. 11, p. 37-54, 2026. DOI: <http://dx.doi.org/10.64085/agropampa.v11i1.119023>
- SANTOS, A.; DINNAS, S.; FEITOZA, A. Qualidade microbiológica de bioprodutos comerciais multiplicados on farm no Vale do São Francisco: dados preliminares. **Enciclopédia Biosfera**, [s. l.], v. 17, n. 34, 2020. DOI: [http://dx.doi.org/10.18677/EnciBio\\_2020D33](http://dx.doi.org/10.18677/EnciBio_2020D33)
- SOARES, I. A.; MENEZES FILHO, A. C. P. de; VENTURA, M. V. A. Biofábricas no cenário atual agrícola brasileiro: revisão. **Brazilian Journal of Science**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 16-33, 2023. DOI: <https://doi.org/10.14295/bjs.v2i1.246>.
- SOUZA JÚNIOR, W. W. R. de; SANTOS, P. V. S.; SILVA, A. C. G. C.; AMARAL, T. M. Abordagem matemática aplicada à problemática de escolha de fornecedor de Allium cepa. **NAVUS Revista de Gestão e Tecnologia**, [s. l.], v. 12, p. 1-19, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22279/navus.2022.v12.p01-19.1776>.
- TEDESCO, A. M.; OLIVEIRA, G. A.; TROJAN, F. Avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por meio dos métodos AHP e TOPSIS. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s. l.], v. 26, n. 3, p. 401-407, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190322>.
- TURCO, C. S.; PAIVA, E. N. Produzindo seres vivos: uma biofábrica brasileira. **Revista Scientiarum Historia**, [s. l.], v. 1, p. 9, 16 jun. 2021. DOI: [https://doi.org/10.51919/revista\\_sh.v1i0.275](https://doi.org/10.51919/revista_sh.v1i0.275).
- USTAOGU, E.; SIMASN, S.; AVDINOGLU, A. C. Determining agricultural suitable land in peri-urban geography using GIS and Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) techniques. **Ecological Modelling**, [s. l.], v. 455, p. 109610, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109610>.
- WATROBSKI, J.; JANKOWSKI, J.; ZIEMBS, P.; KARCMARCZYK, A.; ZIOTO, M. Generalised framework for multi-criteria method selection. **Omega**, [s. l.], v. 86, p. 107-124, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.07.004>.
- YALEW, S. G.; GRIENSVEN, A.; ZAAG, P. AgriSuit: A web-based GIS-MCDA framework for agricultural land suitability assessment. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 128, p. 1-8, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.08.008>.
- YANG, X.; CHEN, Z. A combined interval TOPSIS with multiple sensitivity strategies decision-making framework. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 422, n. 138611, p. 138611, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138611>.
- XIE, S.; ZHANG, J. TOPSIS-based comprehensive measure of variable importance in predictive modelling. **Expert systems with applications**, [s. l.], v. 232, n. 120682, p. 120682, 2023.

**Submetido:** 3 nov. 2025

**Aprovado:** 20 fev. 2026