ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1193

# Multicriteria Analysis for 3D Printer Selection

Vania Aparecida Rosario de Oliveira, Msc[1], Carlos Alexis Alvarado Silva, Msc[2], Geraldo Cesar Rosario de Oliveira, Phd[1], Fernanda Mywa Tajima[1], Antonio dos Reis Faria Neto, Phd[1], Valerio Antonio Pamplona Salomon, Phd[1] and Erick Siqueira Guidi, Phd[1]

[1]Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil, oliveira.vania@gmail.com, geraldo.cesar@unesp.br, fernanda.m.tajima@unesp.br, antonio.faria@unesp.br, valerio.salomon@unesp.br, erick.s.guidi@unesp.br

[2]Universidad César Vallejo, Fabricación Digital e Innovación Educativa, Perú, calvarados@ucv.edu.pe

***Abstract* – The increase in sustainable and responsible approaches in industries has been driven by the current global social and economic context. The pursuit of greater competitiveness and reduction of operational costs has favored the development of areas such as smart manufacturing, energy management and efficiency, sustainability, and compliance. In this context, this article presents an application of MCDM tools (AHP and TOPSIS) to support the equipment selection process. Three 3D printers from different models and manufacturers were considered, analyzed regarding seven selection criteria: equipment price, printing volume, maximum printing speed, maximum extruder temperature, number of extruders, maximum power, and type. Based on the opinion of an expert, the alternatives were ranked. A comparison was presented between the results obtained with the application of AHP-TOPSIS. The use of these methods significantly contributed to the decision-making process, allowing for a more comprehensive, transparent, and objective analysis of the different characteristics of each equipment.**

***Keywords*— MCDM, AHP, TOPSIS, Additive Manufacturing, 3D Printers, Multicriteria Selection.**

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).
**DO NOT REMOVE**

# Análise Multicritério Para Seleção de Impressoras 3d

Vania Aparecida Rosario de Oliveira, Msc[1], Carlos Alexis Alvarado Silva, Msc[2], Geraldo Cesar Rosario de Oliveira, Phd[1], Fernanda Mywa Tajima[1], Antonio dos Reis Faria Neto, Phd[1], Valerio Antonio Pamplona Salomon, Phd[1] and Erick Siqueira Guidi, Phd[1]

[1]Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil, oliveira.vania@gmail.com, geraldo.cesar@unesp.br, fernanda.m.tajima@unesp.br, antonio.faria@unesp.br, valerio.salomon@unesp.br, erick.s.guidi@unesp.br

[2]Universidad César Vallejo, Fabricación Digital e Innovación Educativa, Perú, calvarados@ucv.edu.pe

***Resumo – O aumento nas abordagens sustentáveis e responsáveis nas indústrias tem sido impulsionado pelo atual contexto social e econômico global. A busca por maior competitividade e redução de custos operacionais favoreceu o desenvolvimento de áreas como manufatura inteligente, gestão e eficiência energética, sustentabilidade e conformidade. Nesse contexto, este artigo apresenta uma aplicação de ferramentas MCDM (AHP e TOPSIS) no suporte ao processo de seleção de equipamentos. Três impressoras 3D de modelos e fabricantes diferentes foram consideradas, analisadas em relação a sete critérios de seleção: preço do equipamento, volume de impressão, velocidade máxima de impressão, temperatura máxima da extrusora, número de extrusoras, potência máxima e tipo. Com base na opinião de um especialista, as alternativas foram ordenadas. Uma comparação foi apresentada entre os resultados obtidos com a aplicação de AHP-TOPSIS. O uso desses métodos contribuiu significativamente para o processo de tomada de decisão, permitindo uma análise mais abrangente, transparente e objetiva das diferentes características de cada equipamento.***

***Keywords— MCDM, AHP, TOPSIS, Manufatura Aditiva, Impressoras 3D, Seleção Multicritério.***

## I. Introdução

O contexto social e econômico atual tem demandado cada vez mais que as organizações adotem uma visão voltada para a sustentabilidade, uso responsável de recursos, preservação ambiental e outros fatores resultantes de boas práticas de governança (ESG). Esses fatores, combinados com a busca por maior competitividade e redução de custos operacionais, têm contribuído para o crescimento de estudos focados em manufatura inteligente, gestão de energia e eficiência energética. O aumento no número de trabalhos relacionados a esses temas também levou a um aumento no uso de métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM) para apoiar processos de resolução de problemas, tais como: seleção de fonte de energia, indicadores de eficiência energética, seleção de materiais para produção de componentes industriais, seleção de fornecedores, localização de novas plantas, entre outros [1-7].

O desenvolvimento de métodos de tomada de decisão multicritério tem sido motivado não apenas pela variedade de problemas práticos que exigem a consideração de múltiplos aspectos, mas também pela necessidade de fornecer técnicas modernas de tomada de decisão que utilizem avanços em modelos matemáticos e tecnologia computacional [8,9]. MCDM pode ser definido como o estudo de métodos e procedimentos que permitem a avaliação de critérios (qualitativos e quantitativos) frequentemente conflitantes, possibilitando sua inclusão em processos de tomada de decisão [10].

A adoção da manufatura aditiva (MA) como substituta das tecnologias tradicionais de subtração tem o potencial de alcançar economias significativas em energia e recursos materiais, especialmente quando há um design adequado para fabricação de componentes. Essa transição tem se tornado cada vez mais popular na produção de peças com geometrias complexas, posicionando a manufatura aditiva como uma inovação em ascensão. Além disso, o uso da MA impulsiona o desenvolvimento contínuo de produtos e permite modificações flexíveis, proporcionando às partes interessadas a capacidade de criar produtos aprimorados em um período mais curto de tempo. Essa abordagem disruptiva na manufatura gera impactos significativos no cenário industrial, apresentando um novo horizonte para a produção e design de componentes. A tecnologia de impressão 3D é considerada uma alternativa às máquinas convencionais tradicionalmente utilizadas no setor manufatureiro [11,12].

Dentre esses novos conceitos, a modelagem por deposição fundida (FDM) é um método aditivo usado para construir peças em 3D, onde cada camada é adicionada diretamente a partir de um modelo de design assistido por computador (CAD). Essa técnica oferece maior liberdade de design sem as restrições encontradas em processos de manufatura convencionais [13]. O interesse em impressoras 3D tem crescido em diversos setores industriais, como automotivo, aeroespacial e implantes médicos, devido à sua capacidade de produzir produtos complexos com diferentes tipos de materiais de engenharia. A escolha adequada de uma impressora 3D tem um potencial significativo para reduzir os custos de produção e é um fator competitivo na indústria. Nesse contexto, este artigo apresenta uma aplicação e comparação dos resultados de métodos AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) no processo de seleção de impressoras 3D, com sete critérios de seleção: preço do equipamento, volume de impressão, velocidade máxima de impressão, temperatura máxima da extrusora, número de extrusoras, potência máxima e tipo. Sua estrutura está organizada em: introdução, revisão

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).
**DO NOT REMOVE**

da literatura, materiais e métodos, resultados, conclusão, agradecimentos e referências.

## II. Revisão da Literatura

O processo de seleção de uma impressora 3D utilizando ferramentas de tomada de decisão multicritério (MCDM) permite a avaliação de diferentes impressoras com base em critérios específicos considerados importantes para a aquisição do equipamento. A primeira etapa para estruturação do processo é fazer a identificação desses critérios de avaliação os quais permitiram a análise técnica e a relação custo beneficio de cada equipamento. Segunda etapa é a determinação das alternativas, quais tipos de equipamento serão considerados no processo de seleção. E na última etapa a aplicação da ferramenta MCDM selecionada. Utillizando a ferramenta de inteligência artificial do Scopus, inserindo a pergunta: *How to select with mcdm a 3d printer?*, obtemos o esquema indicado na Fig. 1, com a relação entre os tópicos nos resultados encontrados destacando a ligação dos termos principais como critérios de avaliação (parâmetros técnicos como caracteristicas e performance dos equipamentos) e métodos aplicados (AHP, VIKOR, lógica FUZZY).

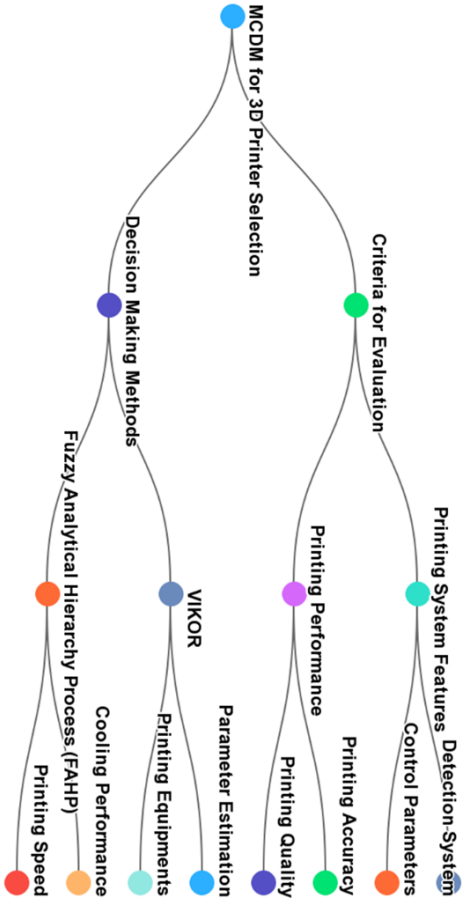


Fig. 1 Aplicações MCDM para seleção de impressoras 3D
Fonte: Adaptado de Scopus, 2024

A busca pelos termos  na base Scopus considerando títulos, resumos e palavras chaves retornou 262 documentos com 2234 citações. Na última década houve crescimento expressivo no número de publicações e citações sobre o tema Fig. 2. Maior parte dos trabalhos foi publicado em revistas (258), mas também houve congresssos (3) e capítulo de livro (1).

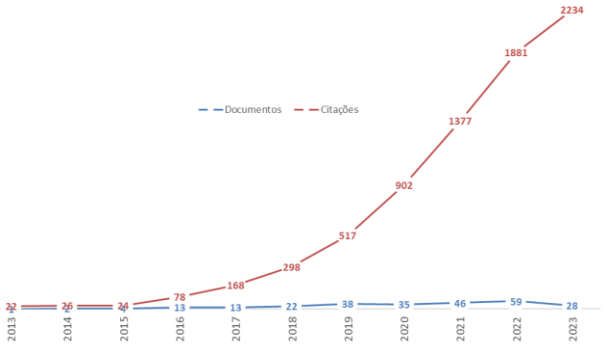


Fig. 2 Evolução das publicações e citações.
Fonte: Adaptado de Scopus, 2024

A distribuição dos estudos publicados por área é representada na Fig. 3. Observa-se que grande parte dos trabalhos é relacionado as áreas de Engenharia e Ciência da Computação. E que o processo de seleção e utilização das impressoras 3D também tem alcançado um cenário multidisciplinar com pesquisas publicadas em outras áreas como: Medicina, Ciências do Ambiente e Sociais, Biologia e Gestão e Negócios entre outros.

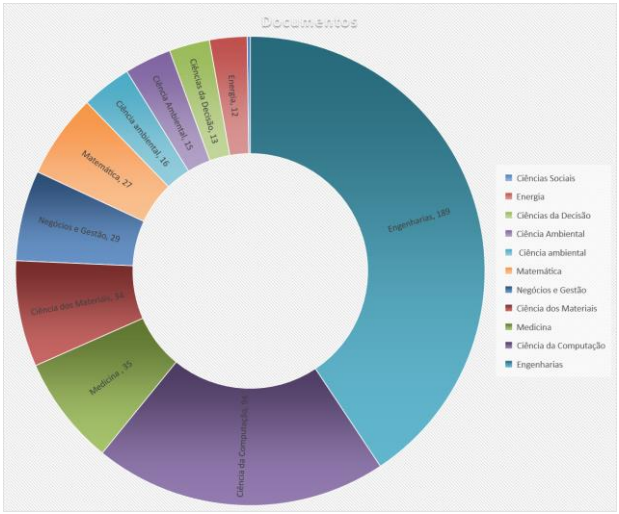


Fig. 3 Documentos por área.
Fonte: Adaptado de Scopus, 2024

A análise das palavras-chave destes estudos permite-nos identificar vários grupos temáticos que estão associados a essas pesquisas. As diferentes cores representam os grupos

temáticos e suas ligações. Entre eles: seleção dos equipamentos, métodos, sistemas de suporte a tomada de decisão, modelos de otimização, tecnologias específicas associadas a manufatura aditiva, customização em massa e indústria 4.0, sustentabilidade, ciclo de vida de ativos, entre outros.

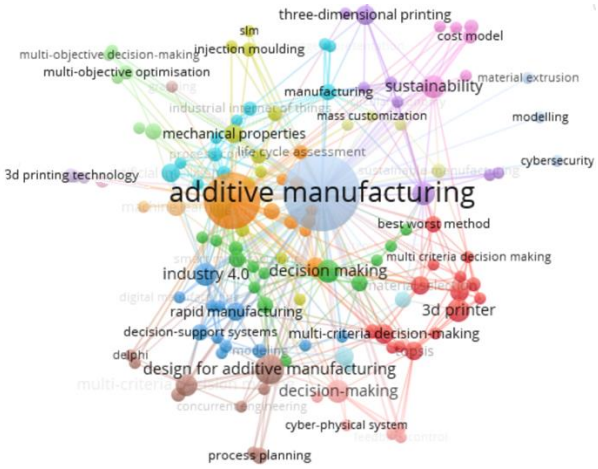


Fig. 4: Clusters de palavras chaves dos autores utilizando o VOSviewer.
Fonte: Autor.

### *A. Manufatura Aditiva (MA) e Impressoras 3D*

A manufatura aditiva, de maneira simplificada, pode ser definida como um processo de fabricação no qual um sólido tridimensional é criado por meio de adições sucessivas de camadas de material, neste caso, um polímero, com base em um modelo virtual [14]. Uma vantagem crucial adicional está relacionada ao processo de design aplicado às peças produzidas por MA. Os designs podem ser criados, personalizados e facilmente modificados de acordo com os requisitos do consumidor. Além disso, oferecem a oportunidade de compartilhar o design, permitindo que o processo de fabricação seja facilmente realizado em diferentes locais simultaneamente. Essa metodologia permite prototipagem rápida com diferentes versões para testes de laboratório sem a necessidade de processos de reconfiguração caros e complexos. Além disso, fabricantes terceirizados têm a capacidade de imprimir peças de reposição usando os designs originais fornecidos pelo fabricante. Essa abordagem eficiente e flexível no processo de design e fabricação traz benefícios substanciais aos consumidores e promove uma maior colaboração entre diferentes partes interessadas na cadeia de produção [15].

Existem muitas impressoras 3D no mercado hoje com especificações variadas, que por sua vez atendem a diferentes demandas. Há alguns elementos a serem considerados ao selecionar a melhor impressora 3D. O primeiro geralmente é o orçamento. Diferentes modelos de impressoras 3D têm custos variados, portanto, o orçamento é afetado. A velocidade de impressão e o volume também são critérios relevantes. Portanto, a seleção de critérios com base na aplicação do equipamento é essencial para garantir que o produto atenda aos requisitos de desempenho desejados, considerando fatores como ambiente de trabalho, funcionalidade e durabilidade. A variedade de equipamentos e materiais disponíveis para manufatura aditiva torna possível produzir peças personalizadas para atender a uma ampla gama de aplicações e necessidades específicas [16- 18].

Os benefícios da manufatura aditiva em relação à fabricação convencional, segundo [19], são diversos, incluindo:

- Alta qualidade e integridade de superfície de engrenagens;
- Capacidade de produzir engrenagens metálicas e não metálicas;
- Flexibilidade;
- Redução da necessidade de ferramentas e dispositivos de fixação;
- Eficiência de recursos e energia;
- Produção sob demanda;
- Redução de resíduos;
- Baixo impacto ambiental devido a uma cadeia de processo reduzida e baixas emissões.

O processo de tomada de decisão é uma subdisciplina da Pesquisa Operacional e tem sido amplamente utilizado quando há duas ou mais alternativas que precisam ser formalmente examinadas. Os principais objetivos do uso de métodos de decisão multicritério são a classificação e seleção de alternativas para apoiar a tomada de decisões com base em formulações matemáticas e metodologias sistemáticas [3,9,20]. Assim, as aplicações de métodos MCDM no suporte a problemas emergentes em MA tem grande potencial colaborativo.

### *B. AHP - TOPSIS*

O modelo AHP-TOPSIS tem sido aplicado com sucesso na solução de problemas em diversas áreas, por exemplo: políticas de tecnologia energética, seleção de locais para construção de empreendimentos, avaliação e seleção organizacional, seleção de materiais, equipamentos e fornecedores, classificação e gestão de riscos, seleção de aplicações web , seleção de sistemas de energia renovável e seleção de e-learnings[3,20-26].

AHP e TOPSIS são alguns dos métodos MCDM mais aplicados em pesquisas nas diversas áreas, também são um bom exemplo de aplicações combinadas de dois ou mais métodos MCDM para resolução de problemas de seleção e classificação[27,28].

O AHP de Saaty [29-31] tem sido amplamente utilizado em problemas para definir prioridades, avaliar custos e benefícios, alocar recursos e comparar desempenho (benchmarking), entre outros objetivos [32,33]. Os elementos fundamentais desse método são julgamentos ou comparações de pares, escala fundamental e hierarquia. Basicamente, a aplicação deste método consiste em estruturar o problema

hierarquicamente, comparar os critérios e as alternativas par a par na matriz de decisão, obter vetores de prioridades, verificar a consistência dos resultados e, por fim, selecionar a alternativa com maior prioridade global. A análise de coerência dos julgamentos das matrizes é feita considerando 2 índices. O índice de coerência (IC) e razão de coerência (RC), sendo que o RC deve ser menor que 10%. O AHP apresenta flexibilidade de integração com diferentes técnicas como TOPSIS, Lógica fuzzy, entre outras [3,9,20,26,33].

O método TOPSIS criado por Hwang and Yoon, tem como princípio a classificação de alternativas avaliadas com base em suas distâncias às soluções ideais positivas e negativas na tomada de decisão multiobjetivo [34,35]. Esse método descata-se por sua simplicidade matemática em relação a outros modelos, incentivando sua utilização para maior transparência no processo de decisão nas organizações [34]. TOPSIS sido amplamente aplicado para resolver vários problemas de tomada de decisão multicritérios. Na sua elaboração considera a menor distância euclidiana da solução ideal positiva (PIS) e a solução com a maior distância euclidiana da solução ideal negativa (NIS) [35,36]. O fluxo de aplicação do método é representado na Fig. 5.

## III. Materiais e Métodos

O fluxo proposto nesse artigo é apresentado na Fig. 6. Na primeira etapa foram listados os critérios a serem considerados e as alternativas. Em seguida na segunda etapa foram determinados os pesos dos critérios utilizando o AHP, e ao final foram classificadas as 3 alternativas conforme a aplicação do método TOPSIS.

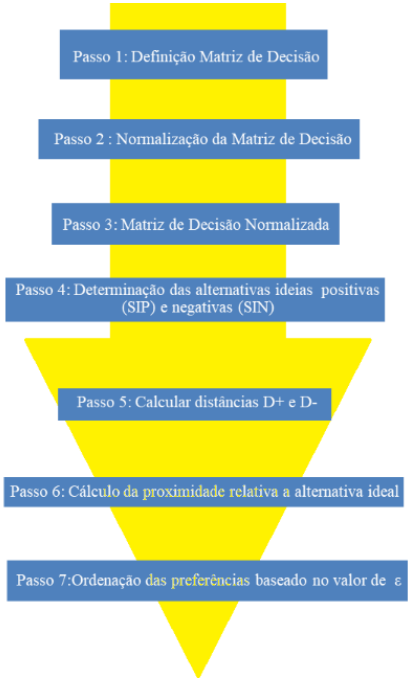


Fig. 5 Fluxo de aplicação método TOPSIS
Fonte:Adaptado de [32].

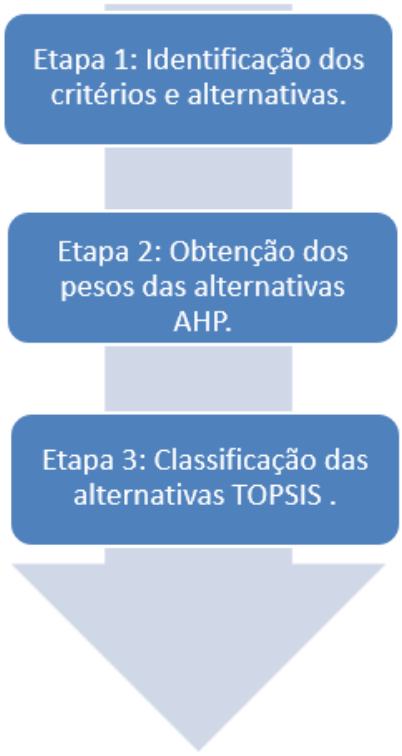


Fig. 6 Fluxo de aplicação.
Fonte: Autor

Considerando o objetivo de realizar o processo de seleção do equipamento impressora, foram consideradas 3 alternativas as quais foram avaliadas com base em 7 critérios (Figura 7):

- Preço em Reais (BRL);
- Volume de impressão ($m^3$);
- Velocidade máxima de impressão (mm/s);
- Temperatura máxima da extrusora ($^oC$);
- Número de extrusoras;
- Potência Máxima (W);
- Tipo (Aberta/Fechada).

Foi utilizado o método AHP para obter os pesos de cada critério baseado na avaliação do expert da área, o método TOPSIS foi utilizado para selecionar a melhor alternativa de compra de acordo com os critérios estabelecidos. Na Fig.7 temos a estrutura do problema com seu objetivo, critérios e alternativas. Os dados das 3 alternativas consideradas para esse problema são apresentados na Tabela 1.

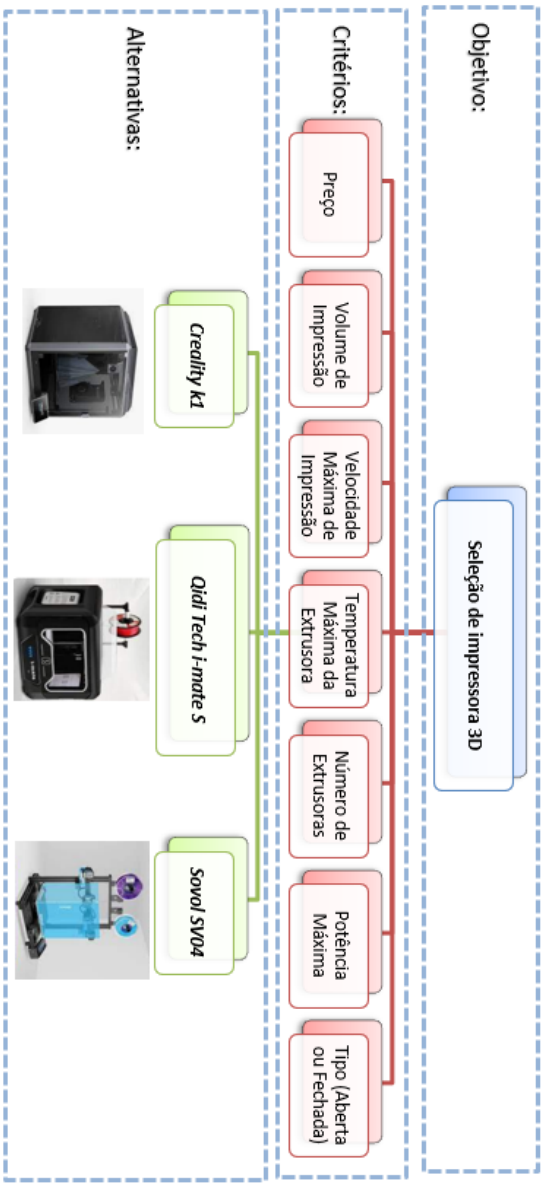


Fig. 7 Estrutura do processo de seleção.
Fonte: Autor.

TABELA I
ALTERNATIVAS E CRITÉRIOS

| Critérios | Alternativas | | |
|---|---|---|---|
| | A1 Creality k1 | A2 Qidi i-mate | A3 Sovol SV04 |
| Preço (BRL) | R$ 4.000,00 | R$ 3.000,00 | R$ 3.500,00 |
| Volume de impressão ($m^3$) | 0,0121 | 0,0104 | 0,036 |
| Velocidade máxima de impressão ( mm/s) | 600 | 150 | 120 |
| Temperatura máxima da extrusora (ºC) | 300 | 250 | 260 |
| Número de extrusoras | 1 | 1 | 2 |
| Potência Máx (W) | 350 | 350 | 500 |
| Tipo | Fechada | Fechada | Aberta |

E os pesos de critérios obtidos segundo julgamento do especialista no método AHP no Tabela II.

TABELA II
PESOS OBTIDOS NA MATRIZ DE JULGAMENTO AHP.

| Critérios | Pesos (AHP) |
|---|---|
| Preço (BRL) | 0,269718097 |
| Volume de impressão ($m^3$) | 0,147768198 |
| Velocidade máxima de impressão ( mm/s) | 0,250736413 |
| Temperatura máxima da extrusora (ºC) | 0,088562945 |
| Número de extrusoras | 0,121219477 |
| Potência Máx (W) | 0,072651315 |
| Tipo | 0,049343556 |

## IV. RESULTADOS

O resultado da aplicação combinada do método AHP-TOPSIS para a classificação dos equipamentos foi listado na Tabela III. A inclusão dos pesos conforme julgamento do especialista possibilitou uma tomada de decisão mais detalhada e voltada a característica específica desse cenário de escolha. As alternativas foram classificadas pelo valor de Épsilon em: A2, A1 e A3.

TABELA III
CLASSIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS MODELO AHP-TOPSIS

| Classificação | Épsilon |
|---|---|
| A2 | 0,9712 |
| A1 | 0,0217 |
| A3 | 0,0215 |

Para fins de comparação foram inseridos os mesmos dados de entrada no método TOPSIS, porém considerados pesos iguais para todos os critérios. Nesse formato observou-se uma inversão de classificação onde A2 continuou sendo a melhor opção seguida por A3 e por última A1.

Ambas as classificações foram apresentadas ao especialista que atuou como decisor, ele confirmou que os resultados obtidos no modelo combinado AHP-TOPSIS foram mais realistas. Notou-se que o equipamento selecionado possui o melhor preço, velocidade de impressão e bom volume de impressão, ambas características de grande impacto para o processo de aquisição e utilização desses equipamentos.

## V. CONCLUSÃO

O processo de seleção de uma impressora é considerado um problema de MCDM, pois envolve múltiplos fatores que precisam ser levados em consideração para a avaliação das alternativas. A utilização dessas ferramentas permite um processo formal de seleção baseado em modelos numéricos e julgamentos de especialistas. Neste artigo foi realizada a comparação entre os resultados da aplicação do método TOPSIS primeiro utillizando pesos diferentes obtidos no AHP e em seguida considerando pesos iguais para os critérios. O ranking final das alternativas no modelo combinado obteve

resultado mais satisfatório segundo a análise dos especialistas da área. A alternativa selecionada mostrou-se a mais adequada com base na influência dos critérios preço e velocidade de impressão. Demais critérios também tiveram participação na composição do processo decisório. Assim esse artigo buscou contribuir para o entendimento do tema MCDM e suas aplicações em processos de tomada de decisão nas indústrias apresentando um problema real. Para estudos futuros, sugere-se a inclusão de mais critérios relacionados à sustentabilidade, gestão energética e governança. E a aplicação e comparação de resultados de outros métodos MCDM como: FITradeoff, SAW, DEA etc.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

[1] Vlachokostas, C. et al. (2020). Multi-Criteria Decision Analysis towards promoting Waste-to-Energy Management Strategies: A critical review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 110563.

[2] Andrei, M. et al. (2022). Knowledge demands for energy management in manufacturing Industry-A systematic literature review. Renewable and Sustainable Energy Reviews,159, 112168.

[3] de Oliveira, V.A.R. et al. (2022). Systematic Literature Review of Multi-Criteria Decision-Making Applied to Energy Management. In: Fathi, M., Zio, E., Pardalos, P.M. (eds) Handbook of Smart Energy Systems. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72322-4_113-1.

[4] C. A. Alvarado-Silva, S. Y. Gastiaburú-Morales, K. L. Gaytan-Reyna, S. E. Gaytan-Reyna, and F. de Azevedo Silva, "Development of a 3D printing strategy to improve the level of abstraction in the generation of orthogonal projections," *J. Educ. Soc. Res.*, vol. 13, no. 5, pp. 10–19, Sep. 2023. doi: 10.36941/jesr-2023-0116.

[5] Ramírez del Castillo, M. D., Chávez Romero, Z. B., Alvarado-Silva, C. A., Rosario de Oliveira, G. C., & Gaytan-Reyna, S. E. (2023). Customer Satisfaction Based on User Perceptions in a Delivery Company in Peru. (2023). Academic Journal of Interdisciplinary Studies, 12(5), 201. https://doi.org/10.36941/ajis-2023-0138

[6] Oliveira, G. C. R. d., Rosario de Oliveira, V. A., Alvarado Silva, C. A., Guidi, E. S., & Silva, F. d. A. (2025). Modeling the Stress Field in MSLA-Fabricated Photosensitive Resin Components: A Combined Experimental and Numerical Approach. Modelling, 6(1), 3. https://doi.org/10.3390/modelling6010003

[7] De Faria Neto, Antonio Dos Reis; Fukugauchi, Cristina Sayuri; Dos Santos Pereira, Marcelo. Using design of experiments in the evaluation of the microstructural characterization parameters with the LePera reagent in a multiphase steel. Materials Research Express, v. 8, n. 8, p. 086522, 2021.

[8] Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of the-art survey of TOPSIS applications. Expert Systems with applications, 39(17), 13051-13069.

[9] French S. (2023) Reflections on 50 years of MCDM: Issues and future research needs. EURO Journal on Decision Processes11:100030. https://doi.org/10.1016/j.ejdp.2023.100030.

[10] International Society on MCDM, Mission of the society (2024). Web page. http://www.mcdmsociety.org/content/mission-society. Accessed 20 Jan 2024.

[11] Raja, S. et al. (2022). Selection of additive manufacturing machine using analytical hierarchy process. Scientific Programming, v.2022, 1596590.

[12] Gopal, M. et al. (2023). Sustainable Additive Manufacturing and Environmental Implications: Literature Review. Sustainability, 15(1), 504.

[13] Mohamed, O. A. et al. (2017). Experimental investigation of time-dependent mechanical properties of PC-ABS prototypes processed by FDM additive manufacturing process. Materials letters, 193, 58-62.

[14] Silva, P. C. et al. (2020). Manufatura aditiva: Revisão sistemática da literatura. Brazilian Journal of Development, v. 6, p. 84502-84515.

[15] González-Henríquez, C. M. et al. (2019). Polymers for additive manufacturing and 4D-printing: Materials, methodologies, and biomedical applications. Progress in Polymer Science, 94, 57-116.

[16] Çetinkaya, C. et al. (2017). 3D printer selection by using fuzzy analytic hierarchy process and PROMETHEE. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 10(4), 371-380.

[17] Tlegenov, Y., et al. (2018). Nozzle condition monitoring in 3D printing. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 54, 45-55.

[18] Dey, A., et al. (2021). A review on filament materials for fused filament fabrication. Journal of manufacturing and materials processing, 5(3), 69.

[19] Gupta, K. (2018). Recent developments in additive manufacturing of gears: A review. Adv. Transdiscipl. Eng, 8, 131-136.

[20] de Oliveira, G. C. R., de Oliveira, V. A. R., Silva, C. A. A., Guidi, E. S., Salomon, V. A. P., Rosado, V. O. G., & de Azevedo Silva, F. (2024). *Multi Criteria Analysis Selection of Cylindrical Spur Gears* (No. 2024-36-0117). SAE Technical Paper.

[21] Lam, W. S., Lam, W. H., Liew, K. F., Bakar, M. A., & Lai, C. P. (2023). Evaluation and Selection of Mobile Phones using Integrated AHP-TOPSIS Model. Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology, 33(2), 25-39.

[22] Ghorui, Neha, Arijit Ghosh, Ebrahem A. Algehyne, Sankar Prasad Mondal, and Apu Kumar Saha.(2020) "AHP-TOPSIS inspired shopping mall site selection problem with fuzzy data." Mathematics 8, no. 8: 1380.https://doi.org/10.3390/math8081380

[23] Chou, Tsung-Yu, and Yen-Ting Chen (2020)."Applying fuzzy AHP and TOPSIS method to identify key organizational capabilities." Mathematics 8, no. 5 (2020): 836. https://doi.org/10.3390/math8050836

[24] C.L. Hwang, K. Yoon.(1981) Multiple attribute decision making: methods and applications, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York.

[25] Dinmohammadi, Abooyee, and Mahmood Shafiee. (2017)."Determination of the most suitable technology transfer strategy for wind turbines using an integrated AHP-TOPSIS decision model." Energies 10, no. 5 : 642.https://doi.org/10.3390/en10050642

[26] Wang, Chia-Nan, Ying-Fang Huang, I-Fang Cheng, and Van Thanh Nguyen (2018). "A multi-criteria decision-making (MCDM) approach using hybrid SCOR metrics, AHP, and TOPSIS for supplier evaluation and selection in the gas and oil industry." Processes 6, no. 12. 252. https://doi.org/10.3390/pr6120252

[27] Zyoud, S. H., & Fuchs-Hanusch, D. (2017). A bibliometric-based survey on AHP and TOPSIS techniques. Expert Systems with Applications, 78, 158–181.

[28] Abdulvahitoglu, A., & Kilic, M. (2022). A new approach for selecting the most suitable oilseed for biodiesel production; the integrated AHP-TOPSIS method. Ain Shams Engineering Journal, 13(3), 101604. https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.10.002

[29] Saaty, T. L. (1977) A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of mathematical psychology, 15(3), 234-281.

[30] Saaty, T. L. (1988) What is the analytic hierarchy process? (pp. 109-121). Springer Berlin Heidelberg.

[31] Saaty, T.L.: (2013) Mathematical principles of decision making. Kindle edn. RWS, Pittsburgh,PA, USA.

[32] Ruiz B., D., Salomon, V. A. P., Marins, F. A. S., Palominos B., P. I., Marrone, L. A. (2021).State of the art review on the Analytic Hierarchy Process and urban mobility. Mathematics 9(24), 3179.

[33] Justino Netto, J. et al. (2019). Selecting low-cost 3D printers using the AHP method: a case study. SN Applied Sciences, v.1, 1-12.

[34] Amorocho, J. A. P., & Hartmann, T. (2022). A multi-criteria decision-making framework for residential building renovation using pairwise comparison and TOPSIS methods. Journal of Building Engineering, 53, 104596.

[35] C.L. Hwang, K. Yoon(1981). Multiple attribute decision making: methods and applications, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York .

[36] Toklu, M.C. (2022). A fuzzy multi-criteria approach based on Clarke and Wright savings algorithm for vehicle routing problem in humanitarian aid distribution. Journal of Intelligent Manufacturing .