

## **Métodos multicritérios para auxiliar no processo de tomada de decisão na indústria 4.0: Uma revisão da literatura**

**Cintia Peixoto da Silva**

<https://orcid.org/0009-0003-3304-0914>

**Marcelo Duduchi Feitosa**

<https://orcid.org/0000-0002-0969-4737>

**Marcelo Ramos**

<https://orcid.org/0009-0002-1339-0661>

**Carlos Hideo Arima**

<https://orcid.org/0000-0001-7922-0943>

### **Resumo**

Atualmente, devido às variações constantes na economia global, ao aumento no número de concorrentes, à necessidade sempre presente de agilidade no atendimento, a pressão para reduzir custos, bem como à evolução das tecnologias digitais, tornou-se imperativo adotar um processo de tomada de decisão no âmbito da indústria 4.0. O processo de tomada de decisão tem um impacto abrangente e significativo em todas as áreas da empresa. Em vista disso, este artigo se propõe a identificar quais são os métodos de tomada de decisão multicritérios aplicáveis no contexto de transformação digital na indústria 4.0. Para esta finalidade adotou-se a abordagem de pesquisa que se fundamenta em uma revisão de literatura baseada nas diretrizes do protocolo PRISMA-P. As buscas foram realizadas nas bases de dados de referência da *Scopus* e *Web of Science*. Os dados foram analisados criteriosamente com base nas palavras-chave definidas e no período de publicação, que se limitou aos anos de 2018 a 2023. Aplicou-se um refinamento na seleção dos artigos finais mediante critérios de inclusão e exclusão e efetuou-se a análise de conteúdo apenas nas publicações relacionadas com o escopo desta pesquisa para alcance dos objetivos propostos. Os resultados apontaram que há um aumento gradual de publicações relacionadas ao tema. Dentre os métodos analisados, o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) sobressaiu-se como o mais amplamente empregado nas publicações. Além disso, observou-se o uso de abordagens híbridas na tomada de decisão. No que concerne à tecnologia, nos artigos relacionados à tomada de decisão multicritério aplicáveis no contexto de transformação digital na indústria 4.0, os robôs para automatização de tarefas destacaram-se, embora outras tecnologias como *big data*, realidade aumentada, impressão 3D e rastreabilidade, também tenham sido evidenciadas. Este artigo contribui para o processo decisório nas organizações na medida em que proporciona uma visão abrangente dos métodos multicritérios de apoio à tomada de decisão existentes na literatura científica relacionados à transformação digital no contexto da indústria 4.0.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0. Métodos Multicritérios. Transformação Digital. Tecnologia da Informação.

### **Abstract**

Currently, due to constant variations in the global economy, the increase in the number of competitors, the need for increase the agility in service, the pressure to reduce costs, as well as the evolution of digital technologies, it has become imperative to adopt a decision-making process in the scope of industry 4.0. The decision-making process has a comprehensive and significant impact on each part of the company. In view of this, this article aims to identify which multi-criteria decision-making methods are applicable in the context of digital transformation in industry 4.0. For this purpose, a research approach adopted was the literature review based on the PRISMA-P protocol guidelines. The searches were carried out in the Scopus and Web of Science reference databases.

The data was carefully analyzed based on the defined keywords, the publication period was limited to the years 2018 to 2023, a refinement was applied to the selection of final articles using inclusion and exclusion criteria and executed an analysis of content for the publications related to the scope of this research to achieve the proposed objectives. The results of this research showed that there is a gradual increase in publications related to the topic. Among the methods analyzed, hierarchical process analysis (AHP) stood out as the most widely used in publications. Furthermore, the use of hybrid approaches in decision making was observed. Regarding technology in articles related to multi-criteria decision making applicable in the context of digital transformation in industry 4.0, robots for automating tasks stood out, although other technologies such as big data, augmented reality, 3D printing, and traceability were also highlighted. This article contributes to the decision-making process in organizations as it provides a comprehensive view of the multi-criteria decision-making support methods existing in the scientific literature related to digital transformation in the context of industry 4.0.

**Keywords:** Industry 4.0. Multi-criteria Methods. Digital Transformation. Information Technology.

## 1 Introdução

O principal desafio na manufatura é balancear o constante crescimento da demanda com a complexidade das exigências dos clientes. A indústria 4.0 é o conceito que envolve uma transformação digital integrada na manufatura, cujas vantagens propiciam ganhos na qualidade da produção, redução de custos e melhoria da eficiência (BEYAZ; YILDIRIM, 2020).

A indústria 4.0, preconiza a necessidade de as empresas adotarem tecnologias inovadoras, para desenvolvimento de capacidade dinâmica de atendimento das necessidades do mercado (OMERALI; KAYA, 2022).

A evolução constante das tecnologias de informação, acelerou o desenvolvimento da manufatura com o paradigma da indústria 4.0, causando grandes mudanças sociais e econômicas ao redor do mundo. Os resultados deste processo, conhecido como transformação digital, impactou todas as áreas do cotidiano, por isso que esse processo vem se tornando uma tendência crescente e de contínua mudança na sociedade e nos negócios (BRODNY; TUTAK, 2022).

A transformação digital auxilia no atingimento de resultados, por meio do uso de tecnologia avançada para ampliar o desempenho das atividades de uma empresa (RODRIGUES; QUEIROGA; MILHOSSI, 2022).

A transformação digital não representa apenas inserção de novas tecnologias, tais como *machine learning*, *internet of things*, *artificial intelligence*, que pertencem ao conceito de indústria 4.0, mas implica principalmente em uma mudança nos modelos de negócios (RAMOS *et al.* 2020).

As tecnologias utilizadas na Indústria 4.0 são complexas e têm requisitos tecnológicos rigorosos, o que torna sua implementação dispendiosa. Portanto, é essencial realizar análises detalhadas e objetivas antes de implementá-las, visto que, decisões equivocadas sobre investimentos podem levar à falência ou a sérios problemas econômicos nas empresas (BRODNY; TUTAK, 2022).

Ao passo que o processo de transformação digital na indústria 4.0, está se tornando uma necessidade para as empresas se manterem competitivas no mercado, há também, o desafio de selecionar as tecnologias adequadas que serão usadas para melhorar seu desempenho (POUR *et al.* 2023).

Os métodos multicritério de tomada de decisão, tem como objetivo selecionar, ordenar, classificar ou apresentar opções em um processo de decisão, quando há diversos critérios a serem considerados. Sendo considerada como uma

abordagem utilizada para resolver problemas complexos (GOMES; RANGEL, 2010).

A principal vantagem da utilização dos métodos multicritério de tomada de decisão, ocorre dado a possibilidade de escolhas baseadas em fatos e avaliação objetiva (OMERALI; KAYA, 2022).

Perante este cenário, o presente estudo visa contribuir para compreender, quais são os métodos multicritérios que estão sendo apresentadas na literatura, para auxiliar no processo da tomada de decisão de uma transformação digital na indústria 4.0 e conseqüentemente identificar quais são as tecnologias e os critérios que foram aplicados nesse processo.

Os objetivos específicos desta pesquisa são: a) Realizar buscas em bases de dados bibliográficas; b) Estabelecer e aplicar critérios de inclusão e exclusão de artigos; c) Identificar quais são os métodos de tomada de decisão multicritérios, que estão sendo empregados em um processo de transformação; d) Identificar as ferramentas de tecnologias da indústria 4.0, consideradas nos artigos relacionados a uma temática do processo de tomada de decisão multicritérios; e) Identificar quais são os critérios que foram mais aplicados nos métodos multicritérios.

Esta pesquisa está estruturada em seis seções. A seção dois, apresenta o objetivo geral e os específicos. A seção três, relata os conceitos sobre transformação digital, indústria 4.0 e métodos multicritério de apoio a decisão, encontrados nas publicações científicas. A seção quatro, descreve o método de pesquisa utilizado neste estudo. A seção cinco, expõe a análise de resultados e por fim, a seção seis, descreve as considerações finais.

## **2 Referencial Teórico**

Um processo de transformação digital, ocorre por meio de tecnologias que permitem a integração de produtos e serviços, processos de negócios e de clientes. A transformação digital implica no uso de tecnologia de somente uma funcionalidade ou a combinação de várias outras tecnologias, para potencializar os benefícios das ferramentas (KUMAR; KUMAR; SINGH, 2020).

O processo de transformação digital identificado por meio da modernização, flexibilidade dos processos e constante inovação, está se tornando uma garantia de crescimento econômico, e gerando uma gestão inovadora dos processos de produção, permitindo que a tomada de decisões de nível estratégico e operacional gere melhorias na eficiência e eficácia das atividades das empresas (BRODNY; TUTAK, 2022).

O conceito Indústria 4.0, inicialmente associado ao âmbito industrial, também indica o conceito de transformação digital que possui maior amplitude de aplicação. Assim a tecnologia realiza a integração e interação entre o ambiente real e virtual, por meio uso da tecnologia da informação (TI) e do alto volume de transmissão de dados em tempo real (CORDEIRO, 2022).

A Indústria 4.0, norteia a transformação digital que corresponde a integração de máquinas com sensores e o uso de softwares inteligentes para prever, controlar e planejar os resultados. Criando fábricas inteligentes, por meio do uso de informações analíticas avançadas, na comunicação e colaboração entre pessoas e máquinas (ERBAY; YILDIRIM, 2019).

O processo de tomada de decisão, está presente em todas as atividades de uma organização, para atingir-se o resultado e as metas estabelecidas. Contudo, dada a existência constante, diversas dos cenários de incertezas e objetivos

conflitantes, um processo decisório torna-se complexo. Os métodos de análise multicritérios são destinados à solução de problemas, que consideram o uso de mais de um critério de avaliação com uma ou mais opções (DECÓ; CHIWIACOWSKY 2015).

Os métodos multicritério possuem quatro itens que os caracterizam, sendo eles: as alternativas, os critérios, as preferências do decisor e o resultado de cada escolha (VENÂNCIO *et al.* 2022).

Portanto, o objetivo dos métodos de tomada de decisão multicritério, tem o sentido de apresentar possíveis soluções e demonstrar ao decisor o resultado obtido. Há diversos métodos disponíveis e eles podem ser usados de acordo com as preferências e necessidades de cada decisor (ALVES, 2023). Os métodos multicritérios relacionam-se a um conjunto de alternativas possíveis diante de um problema e a apresentação da melhor opção considerando os critérios disponíveis (CHAKRABORTY; CHAKRABORTY, 2018).

### 3 Método

O método de pesquisa aplicado neste artigo possui característica descritiva, de abordagem qualitativa exploratória, aplicado por meio de uma revisão da literatura, considerando a temática central dos métodos de tomada de decisão multicritério e as tecnologias da indústria 4.0 por meio do protocolo PRISMA-P, (*Preferred Reporting Item for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols*), que direciona as etapas e a organização para revisão das publicações (MOHER *et al.*, 2015). O protocolo de pesquisa foi executado com a utilização da plataforma Parsifal (<https://parsif.al/>). Esta ferramenta é específica para esta finalidade.

A revisão sistemática de literatura é um meio de identificar, analisar e interpretar todos os artigos científicos disponíveis relacionados a uma questão de pesquisa específica e assim, por consequência, se pode observar as evidências existentes, identificar lacunas e gerar um contexto de um determinado tema (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007).

O conjunto das palavras-chave usadas para a composição da *string* de busca, foram determinadas mediante pesquisa prévia para um mapeamento dos termos comuns presentes nas publicações, pela busca de sinônimos e após um refinamento, encontrou-se as palavras com maior recorrência aplicadas nos artigos.

Para a pesquisa bibliométrica foram utilizadas as bases de dados *Scopus* e *Web of Science (WoS)*, com foco no resumo, palavras chaves e título aplicando-se a *string* conforme a Tabela 1. Para as buscas foram aplicadas as palavras-chave em inglês. As bases de dados foram selecionadas devido a sua constante atualização, ampla cobertura de artigos científicos na área de conhecimento e a grande relevância no meio acadêmico.

**Tabela 1 - String aplicada na pesquisa**

| Base de Dados   | String de busca  | Número de Artigos | Data da Pesquisa |
|---|--|-------------------|------------------|
| Scopus<br>( <a href="https://www.scopus.com">https://www.scopus.com</a> )   | TITLE-ABS-KEY ((( industry OR manufactory OR production OR factory ) AND ( "4.0" ) ) AND ( "decision support system" OR "decision making" OR "multicriteria" OR "multicriteria decision making" OR "MCDM" OR "MCDA" OR "multicriteria decision analysis" OR "MAUT" OR "multi attribute utility theory" OR "decision making technique" OR "multicriteria decision making" ) AND ( "digital transformation" OR "digitization" ) ) AND PUBYEAR > 2018 AND PUBYEAR < 2024 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "cp" ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) ) | 226               | 16/09/2023       |
| Web of Science<br>( <a href="https://www-webofscience.ez87.periodicos.capes.gov.br">https://www-webofscience.ez87.periodicos.capes.gov.br</a> ) | TS= (((industry OR manufactory OR production OR factory) AND ("4.0")) AND ( "decision support system" OR "decision making" OR "multicriteria" OR "multicriteria decision making" OR "MCDM" OR "MCDA" OR "multicriteria decision analysis" OR "MAUT" OR "multi attribute utility theory" OR "decision making technique" OR "multicriteria decision making" ) AND ( "digital transformation" OR "digitization" ) ) AND PY=((2018-2023))  | 115               | 16/09/2023       |

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2023)

Após a aplicação da *string*, foram selecionados os filtros para realização de uma triagem nos artigos, de acordo com o Quadro 1. Considerou-se o período refinado de publicação dos anos de 2018 ao ano de 2023.

**Quadro 1 - Filtros aplicados na pesquisa**

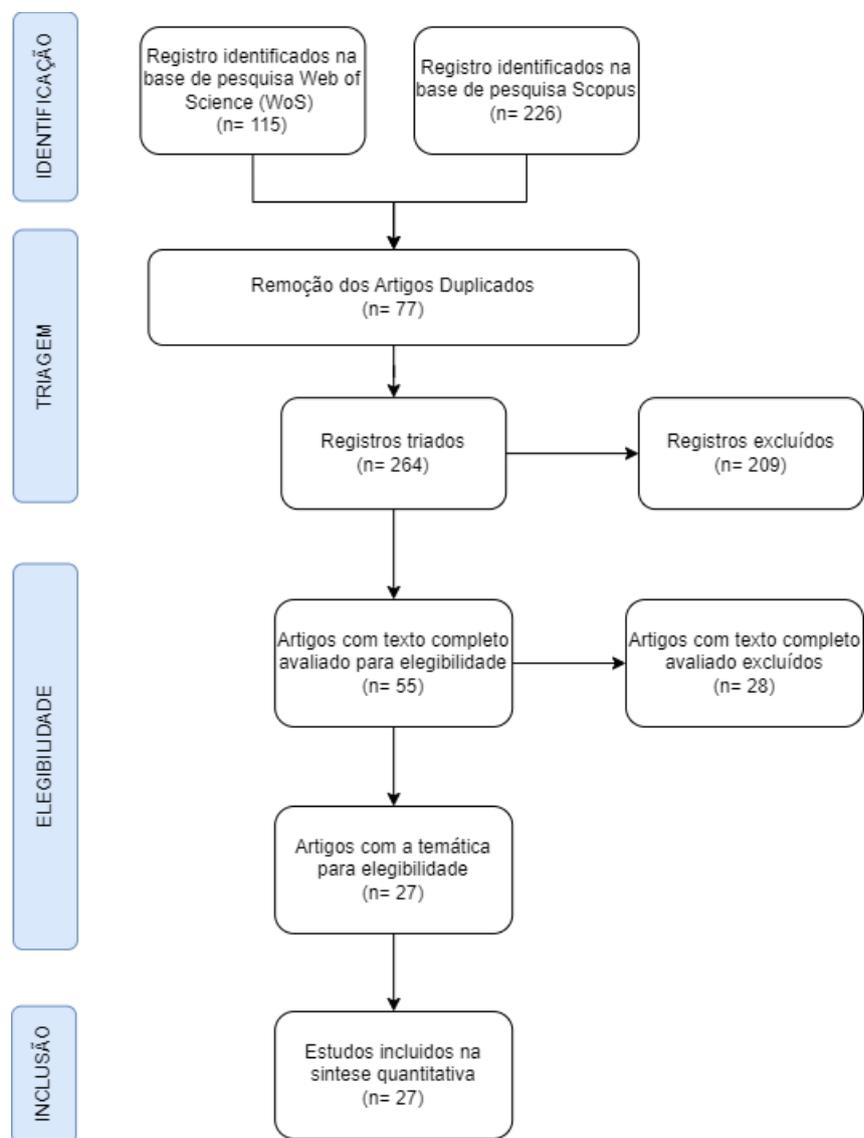
| Critério                      | Critério de Inclusão                                  | Critério de Exclusão                                 |
|-------------------------------|---|--|
| Tipo de Documento             | Artigos; Papéis de Conferência                        | Demais tipos de documentos                           |
| Tipo de Publicação            | Revistas, periódicos e anais de conferência           | Demais tipos de publicações                          |
| Idioma                        | Inglês  | Diferente de Inglês                                  |
| Aderência do Tema da Pesquisa | Tecnologia da indústria 4.0 e um método multicritério | Conteúdo não contém o escopo da pesquisa             |
| Disponibilidade               | Estudo disponível na integralidade                    | Não foi possível acessar ou fazer download do artigo |

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2023)

A etapa de remoção de duplicados, foi realizada por meio da aplicação da ferramenta *Parsifal*, executada de modo *online*. Durante a execução da fase de elegibilidade, foi realizada uma leitura dos títulos e resumos para a realização da classificação do estudo, se correspondia ou não ao tema central da pesquisa.

O protocolo PRISMA-P aplicado neste estudo, para análise do resultado retornado da pesquisa nas bases de dados (Figura 1).

Figura 1 - Protocolo de pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Com os artigos resultantes, foi realizada uma análise manual, sem uso de recurso de softwares específicos que suportam essa função, por meio de uma leitura do texto na íntegra para confirmar se os estudos se alinhavam ao tema desta pesquisa. Por fim, foram incluídos na análise deste estudo um total de 27 artigos.

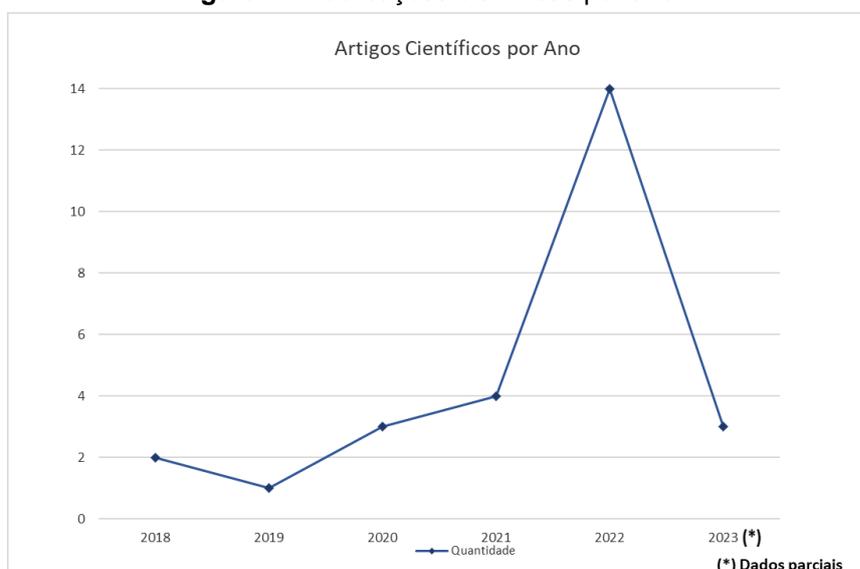
Para facilitar a visualização, os resultados da pesquisa bibliométrica serão apresentados por meio de gráficos, tabelas e quadros. Foram utilizados os softwares *VOSviewer* versão 1.6, o *Mendeley Reference Manager* 1.19.5 / 2019, editor de texto *Microsoft Word* e o software de planilhas eletrônicas *Microsoft Excel*. A análise dos resultados ocorreu focada nos artigos científicos que foram qualificados para este estudo.

## 4 Resultados

Mediante o resultado gerado com a execução do protocolo de pesquisa empregado neste estudo, iniciou-se uma análise aprofundada dos artigos científicos para o alcance do objetivo desta pesquisa.

A figura 2, apresenta a distribuição das publicações identificadas na pesquisa. O ano de 2022 apresenta um expressivo aumento, quando comparado ao primeiro ano. Contudo observa-se um impacto a partir do ano de 2019 a 2021, nesse período esse acontecimento pode ter relação com a pandemia de Covid 19. Os dados de 2023 são parciais e não se pode identificar uma tendência, sendo necessário o encerramento do ano para se obter mais dados.

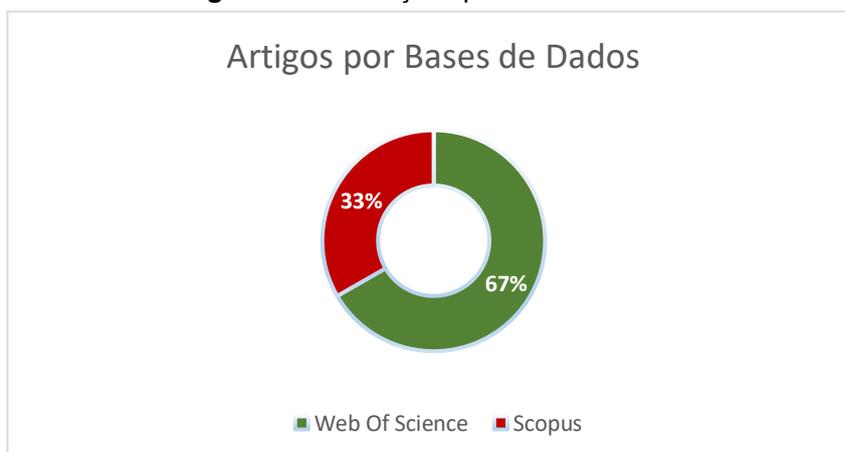
**Figura 2 - Publicações científicas por ano**



**Fonte:** Resultado da pesquisa (2023)

A figura 3, apresenta a distribuição das publicações identificadas na pesquisa, de acordo com a base de dados. Observa-se que a base *Web of Science* apresenta um número expressivo com 18 artigos (67%) seguida pela base Scopus com 9 totalizando (33%).

**Figura 2 - Publicações por base de dados**



**Fonte:** Resultado da pesquisa (2023)

Na tabela 2, se exibe os dez artigos científicos de acordo com o maior número de citações, considerando os artigos presentes no resultado deste estudo. Os artigos apresentam distintos métodos multicritérios, que podem ser utilizados para a definição da tecnologia e distintos critérios que foram utilizados, que impactam uma sugestão de resolução.

**Tabela 2** - As dez publicações mais citadas

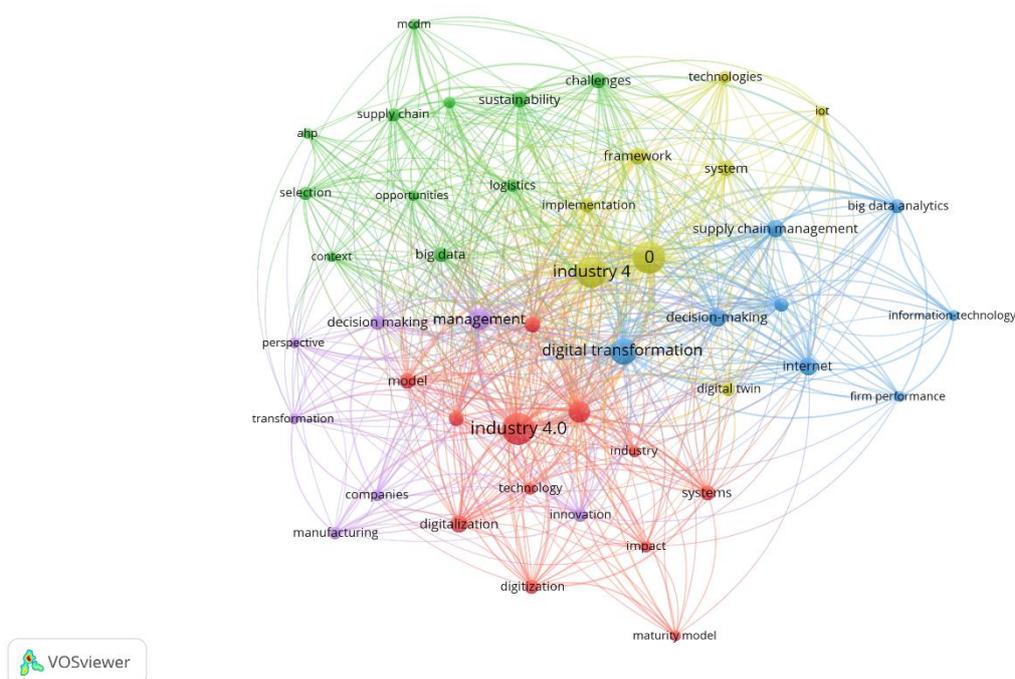
| <b>Título do Artigo</b>  | <b>Autor(es)</b>  | <b>Ano</b> | <b>Citações</b> | <b>Fonte</b>   |
|--|---|------------|-----------------|--|
| Fermatean Fuzzy CRITIC-COPRAS Method for Evaluating the Challenges to Industry 4.0 Adoption for a Sustainable Digital Transformation             | Saraji, M. K.; Streimikiene, D.; Kyriakopoulos, G. L.             | 2021       | 73              | Sustainability   |
| Factors Influencing Adoption and Integration of Construction Robotics and Automation Technology in the US  | Bademosi, F.; Issa, R. R. A.                                      | 2021       | 45              | Journal of Construction Engineering and Management         |
| Identifying and prioritizing impediments of industry 4.0 to sustainable digital manufacturing: A mixed method approach                           | Verma, P.; Kumar, V.; Daim, T.; Sharma, N. K.; Mittal, A.         | 2022       | 39              | Journal of Cleaner Production                              |
| Entrepreneurs as strategic transformation managers: Exploring micro-foundations of digital transformation in small and medium internationalisers | Jafari-Sadeghi, V.; Amoozad M.; Hannan A.; Gazi M.; Mazzoleni, A. | 2023       | 38              | Journal of Business Research                               |
| Barriers and enablers for the integration of industry 4.0 and sustainability in supply chains of msms  | Machado, E.; Scavarda, L.F.; Caiado, R.G.G.; Thomé, A.M.T.        | 2021       | 35              | Sustainability   |
| Systems Evaluation Methodology to Attend the Digital Projects Requirements for Industry 4.0  | Ramos, L.; Loures, E.; Deschamps, F.; Venâncio, A.                | 2019       | 34              | International Journal of Computer Integrated Manufacturing |
| Big data analytics application for sustainable manufacturing operations: analysis of strategic factors   | Kumar, N.; Kumar, G.; Singh, R.K.                                 | 2021       | 27              | Clean Technologies and Environmental Policy                |
| A knowledge-based experts' system for evaluation of digital supply chain readiness   | Ahmed, K. S.; Naim, I. Kusi-Sarpong, S.; Gupta, H.; Idrisi, A. R. | 2021       | 22              | Knowledge-Based Systems                                    |

|   |                                      |      |    |  |
|---|--------------------------------------|------|----|--|
| A Roadmap for evolution of existing production system toward the factory of the future: A case study in automotive industry   | Ebrahimi, M.; Baboli, A.; Rother, E. | 2018 | 16 | IEEE International Conference on Technology Management |
| Theory Building Through Corporate Social Responsibility 4.0 for Achieving SDGs: A Practical Step Toward Integration of Digitalization With Practice-Based View and Social Good Theory | Govindan, K.                         | 2022 | 16 | IEEE Transactions on Engineering Management            |

Fonte: Resultado da pesquisa (2023)

Para se obter uma visão gráfica da disposição das palavras, optou-se pela elaboração do mapa de ocorrência das palavras chaves, utilizando as publicações científicas obtidas pela busca nas bases, figura 3, este mapa foi elaborado por meio da ferramenta VOSviewer na versão 1.6.19, e foi gerado com a base dados Scopus, dado que é a base que possui o maior número de estudos científicos indicados na primeira etapa de seleção deste estudo. As palavras que possuem um maior destaque, representam o maior número de artigos, citando a respectiva palavra.

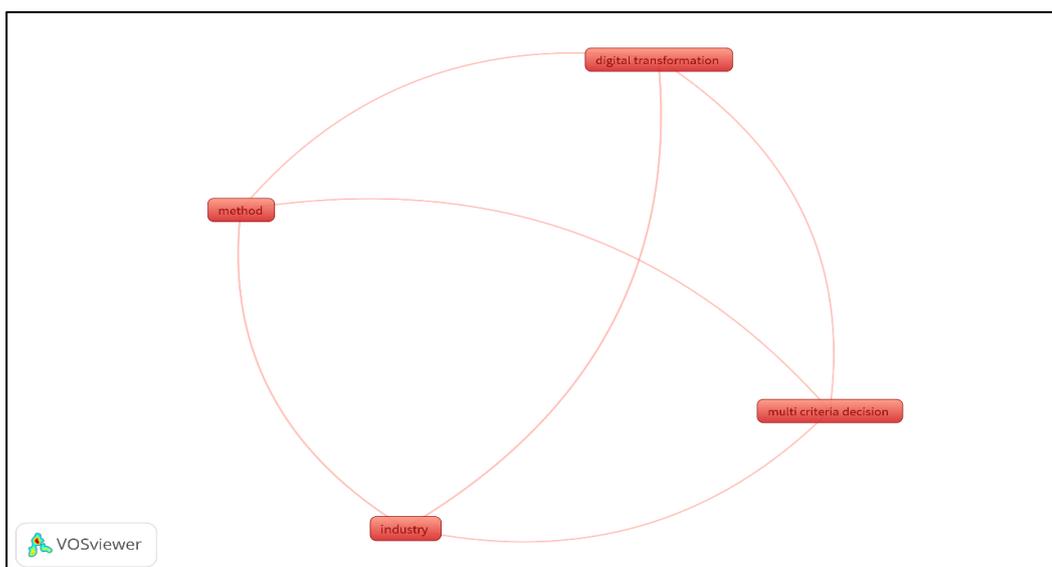
Figura 3 - Mapa de palavras chaves das publicações



Fonte: Resultado da pesquisa (2023)

Observa-se que as palavras chaves identificadas nas publicações, estão conforme o tema deste estudo e se expandindo para as tecnologias tais como *big data* e *analytics*, tudo isso centrada no contexto da indústria 4.0, transformação digital e métodos de tomada de decisão. O mapa de rede dos títulos e resumos elaborados por meio da utilização da ferramenta VOSviewer identifica em todas as publicações pesquisadas quais foram as palavras mais utilizadas (Figura 4).

**Figura 4 - Mapa de palavras dos títulos e resumos das publicações**



**Fonte:** Resultado da pesquisa (2023)

Associando as tecnologias identificadas nas publicações, aos métodos multicritérios de tomada de decisão que foram citados nos artigos, no Quadro 2, os dados estão distribuídos realizando um *link* entre as tecnologias e os métodos citados nas publicações científicas.

**Quadro 2 - Tecnologias e os métodos multicritérios**

| Tecnologia                      | Método Multicritério             |        |        |         |           |        |       |
|---------------------------------|----------------------------------|--------|--------|---------|-----------|--------|-------|
|                                 | Analytic Hierarchy Process (AHP) | COPRAS | DELPHI | DEMATEL | PROMETHEE | TOPSIS | VIKOR |
| Human-Robot Collaboration       | X                                |        | X      | X       |           |        | X     |
| Big data                        | X                                |        |        |         |           | X      |       |
| Augmented Reality               |                                  | X      |        |         |           |        |       |
| Robotics                        | X                                |        |        |         |           |        |       |
| Automation Technology (RAT)     | X                                |        |        |         |           |        |       |
| RFID                            | X                                |        |        |         |           |        |       |
| Smart Sensor                    | X                                |        |        |         |           |        |       |
| Robotization                    | X                                |        |        |         |           |        |       |
| Data Analytics                  | X                                |        |        |         | X         |        |       |
| 3D Printing                     | X                                |        |        |         |           |        |       |
| Augmented Reality               | X                                |        |        |         |           |        |       |
| Virtual Reality                 | X                                |        |        |         |           |        |       |
| Image Processing                | X                                |        |        |         |           |        |       |
| E-Kanban                        |                                  |        |        |         |           | X      |       |
| Automated Guided Vehicles-AGV   |                                  |        |        |         |           | X      |       |
| Real Time Location Systems-RTLS |                                  |        |        |         |           | X      |       |
| 3-D LAZER                       |                                  |        |        |         |           | X      |       |
| Traceability                    | X                                |        |        |         | X         |        |       |
| Artificial Intelligence         | X                                |        |        |         | X         |        |       |

**Fonte:** Resultado da pesquisa (2023)

Os métodos multicritérios de tomada de decisão abordados nessa pesquisa, possuem distintas particularidades e por esse motivo diversas vezes, ocorre a implicação de uso de mais de um método multicritério. Esse processo é apresentado na literatura como métodos híbridos de tomada de decisão, o que apresenta uma tendência que utiliza diferentes métodos multicritérios simultaneamente, para auxiliar os decisores para o tratamento de informações diversas (ANTUCHEVICIENE *et al*, 2016). As tecnologias da indústria 4.0 abordadas nas publicações, englobam diversas funcionalidades para auxiliar em diversas áreas das empresas, assim indo além de somente os processos produtivos. Cada ferramenta possui as suas vantagens e funções distintas. Contudo, ao serem utilizadas de modo integrado, potencializam os ganhos de uma implementação e as melhorias nos processos.

Observa-se um alto uso do método de tomada de decisão AHP, seguido pelo método TOPSIS. A alta utilização do método AHP, ocorre dado ao fato de ser um dos métodos mais conhecidos e utilizados nas pesquisas. Em algumas tecnologias, há estudo somente utilizando um método de tomada de decisão, contudo como por exemplo na tecnologia *Human-Robot Collaboration*, nota-se que há a aplicação de mais um método em distintos estudos.

Outro fator relevante além da definição do método de tomada de decisão multicritérios, são os critérios que são aplicados no método, dado que pode variar de acordo com o perfil de cada decisor (Quadro 3). A definição dos critérios apresentados no quadro, foi por meio dos maiores pesos que esses critérios obtiveram nos artigos.

**Quadro 3 - Critérios mais citados**

| <b>Critérios Destacados</b>         | <b>Autores</b>  |
|-------------------------------------|---|
| Fatores de benefícios da tecnologia | Bademosi, F.; Issa, R. R. A. (2021)   |
| Aprimoramento da Produtividade      | Bademosi, F.; Issa, R. R. A. (2021)   |
| Vantagem competitiva                | Bademosi, F.; Issa, R. R. A. (2021)   |
| Investimento Inicial                | Bademosi, F.; Issa, R. R. A. (2021)   |
| Fatores organizacionais             | Verma, P.; Kumar, V.; Daim, T.; Sharma, N. K.; Mittal, A. (2022)                                  |
| Infraestrutura                      | Ramos, L.; Loures, E.; Deschamps, F.; Venâncio, A (2019)  |
| Integração                          | Ramos, L.; Loures, E.; Deschamps, F.; Venâncio, A (2019) Kumar, N.; Kumar, G.; Singh, R.K. (2021) |
| Otimização de recursos              | Kumar, N.; Kumar, G.; Singh, R.K. (2021)  |

**Fonte:** Resultado da pesquisa (2023)

Além dos critérios a serem considerados, nesse processo de tomada de decisão para determinação da tecnologia, observa-se que alguns artigos apresentam quais são as barreiras, desafios ou até mesmo riscos no contexto da implementação das tecnologias emergentes, aplicadas com um método multicritério (Quadro 4). A definição das barreiras apresentadas no quadro, foi por meio dos itens mais citados ou com maiores pesos que obtiveram nos artigos analisados.

**Quadro 4 - Barreiras mais citadas**

| <b>Barreiras Destacadas</b>              | <b>Autores</b>  |
|--|---|
| Econômica                                | Saraji, M. K.; Streimikiene, D.; Kyriakopoulos, G. L. (2021)<br>Bademosi, F.; Issa, R. R. A. (2021)<br>Machado, E.; Scavarda, L.F.; Caiado, R.G.G.; Thomé, A.M.T (2021) |
| Falta de consciência das vantagens       | Saraji, M. K.; Streimikiene, D.; Kyriakopoulos, G. L. (2021)  |
| Dificuldade de coordenação e colaboração | Saraji, M. K.; Streimikiene, D.; Kyriakopoulos, G. L. (2021)  |
| Resistência a mudança                    | Bademosi, F.; Issa, R. R. A. (2021)<br>Machado, E.; Scavarda, L.F.; Caiado, R.G.G.; Thomé, A.M.T (2021)   |
| Limitações da tecnologia                 | Bademosi, F.; Issa, R. R. A. (2021)   |
| Falta de cultura tecnológica             | Bademosi, F.; Issa, R. R. A. (2021)<br>Machado, E.; Scavarda, L.F.; Caiado, R.G.G.; Thomé, A.M.T (2021)   |
| Segurança                                | Weerabahu M. S. K. W.; Samaranayake, P.; Nakandala, D.; Lau, H.; Malaarachchi, D. N. (2022)<br>Machado, E.; Scavarda, L.F.; Caiado, R.G.G.; Thomé, A.M.T (2021)         |

**Fonte:** Resultado da pesquisa (2023)

Ao realizar um processo de transformação digital, por meio da seleção das tecnologias contempladas no contexto da indústria 4.0, há diversos critérios que podem ser considerados em um processo de tomada de decisão. O uso de métodos multicritérios irá possibilitar a identificação e a justificativa do motivo da solução proposta, assim fornecendo ao decisor argumento para explicar a sua decisão, contudo há a necessidade de atuação nas barreiras para implementação das tecnologias, para que não haja impacto no processo de transformação digital.

## 5 Considerações finais

O objetivo geral deste estudo, foi a apresentação do cenário de publicações sobre métodos de tomada de decisão, aplicados no contexto das tecnologias da indústria 4.0. Com ele foi possível demonstrar a importância do tema e necessidade da ampliação de estudos dentro dessa temática. A análise dos principais trabalhos produzidos, contribuiu para a identificação de quais foram os métodos de tomada de decisão mais utilizados e as tecnologias consideradas nos artigos em que tais métodos foram utilizados.

Esse estudo se torna relevante, dado o contexto do amplo uso de tecnologias da indústria 4.0, para acelerar a transformação digital que está ocorrendo nas empresas, diante disso há uma constante necessidade de tomada de decisão, como consequência a esse processo, se pode aplicar os métodos de multicritérios para auxiliar as empresas nessa jornada.

Observa-se que o método mais utilizado nas publicações foi o AHP, seguido pelo TOPSIS. Não se nota a utilização de métodos mais modernos de tomada de decisão. Para a identificação das tecnologias mais aplicadas, serão necessários mais artigos dentro do tema de pesquisa para tal avaliação.

Por meio das barreiras identificadas neste estudo, observa-se que as empresas devem atuar nesses pontos para mitigar os impactos em diversas

frentes, para implementação da tecnologia e realizar estudos para os itens apontados.

A produção científica da temática avaliada, não é exclusivamente realizada por uma única instituição, periódico ou autor, mostrando possibilidade de uma ampla gama de pesquisa para interessados sobre a temática.

As limitações identificadas referem-se, principalmente a baixa quantidade de publicações, como continuidade a esta pesquisa sugere-se a ampliação do período de pesquisa dos artigos. Além da ampliação das bases de dados. Como sugestão de pesquisa futura, recomenda-se ampliar esta pesquisa considerando outros idiomas nos critérios de inclusão, identificar quais são os principais países que estão realizando este formato de estudo, aplicar pesquisa do método levantamento tipo *survey* para se a identificação de outros critérios e riscos para serem utilizados nos métodos de tomada de decisão.

## Referências

ALVES, M. A. **Aprendizado das Preferências do Decisor usando Aprendizado de Máquina em Problemas Multicritério**. 2023. 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2023.

ANTUCHEVICIENE, J.; GOVINDAN, K.; TURSKIS, Z.; ZAVADSKAS, E. K. Hybrid multiple criteria decision-making methods: a review of applications for sustainability issues. **Economic Research-Ekonomska Istraživanja**, v. 29, p.857-887,2016.

BEYAZ, H.F.; YILDIRIM, N. A Multi-criteria Decision-Making Model for Digital Transformation in Manufacturing: A Case Study from Automotive Supplier Industry. **Proceedings of the International Symposium for Production Research**, p.217-232, 2019.

BRODNY, J.; TUTAK, M. The Level of Digitization of Small, Medium and Large Enterprises in the Central and Eastern European Countries and Its Relationship with Economic Parameters. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v. 8, p.113-141, 2022.

CHAKRABORTY, S.; CHAKRABORTY, A. Application of TODIM (Tomada de Decisão Interativa Multicritério) method for under-construction housing project selection in Kolkata. **Journal of Project Management**, v.3, p.207-216, 2018.

CORDEIRO, G. A. **Proposta de método para implantação de projetos de transformação digital**. 2022. 241 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2022.

DECÓ, J. G.; CHIWIACOWSKY, L. D. Métodos De Análise Multicritério Para Auxílio À Tomada De Decisão Na Implantação Do Mes - Manufacturing Execution System. **Revista Destaques Acadêmicos**, v.14, 2022.

ERBAY, H.; YILDIRIM, N. Technology Selection for Industry 4.0 Digital Transformation: A Decision-Making Model. **Springer: Cham**, p.143-157, 2019.

- GOMES, L. F. A. M; RANGEL, L. A. D. O apoio multicritério à decisão na avaliação de candidatos. **Produção**, v. 20, p. 92–101, 2010.
- KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. Guidelines for performing Reviews in Software Engineering. **EBSE Technical Report**, v. 2, 2007.
- KUMAR, N.; KUMAR, G.; Singh, R. K. Big data analytics application for sustainable manufacturing operations: analysis of strategic factors. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v.23, p. 965-989, 2021.
- MOHER, D. SHAMSEER, L., CLARKE, M., GHERSI, D., LIBERATI, A. PETTICREW, M., SHEKELLE, P., STEWART, L.A., PRISMA-P GROUP. **Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: Elaboration and Explanation**. BMJ 349. 2015. Disponível em: <https://www.bmj.com/content/bmj/349/bmj.g7647.full.pdf> Acesso em: 01 jul. 2023.
- OMERALI, M.; KAYA, T. Augmented Reality Application Selection Framework Using Spherical Fuzzy COPRAS Multi Criteria Decision Making. **Cogent Engineering**, v. 9, 2022.
- POUL, P. D.; AHMED, A.A.; NAZZAL, M. A.; DARRAS, B. M. An Industry 4.0 Technology Selection Framework for Manufacturing Systems and Firms Using Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods. **Systems**, v. 11, 2023.
- RAMOS, L.; LOURES, E.; DESCHAMPS, F.; VENÂNCIO, A. Systems evaluation methodology to attend the digital projects requirements for industry 4.0”. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 33, p. 398-410, 2020.
- RODRIGUES, L. C.; QUEIROGA, A. P. G.; MILHOSSI, J. F. Indústria 4.0 e a transformação digital / Industry 4.0 and digital transformation. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, p. 14093–14101, 2022.
- VENÂNCIO, A. L. A. C.; LOURES, E. F. R.; DESCHAMPS, F.; JUSTUS, A. S.; LUMIKOSKI, A. F.; BREZINSKI, G. L. Technology prioritization framework to adapt maintenance legacy systems for Industry 4.0 requirement: an interoperability approach. **Production**, v. 32, 2022.