57º SBPO
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
Gramado • RS
DE 5 A 9 DE OUTUBRO DE 2025

MÉTODOS MULTICRITÉRIO PARA AJUDA DE TOMADA DE DECISÃO SOBRE INVESTIMENTOS EM INDÚSTRIA 4.0: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Pedro Luis Tozoni Palma
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Guaratinguetá/SP
pedro.palma@unesp.br

Valério Antonio Pamplona Salomon
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Guaratinguetá/SP
valerio.salomon@unesp.br

RESUMO

Este artigo analisa a aplicação de métodos multicritério para ajuda de tomada de decisão como uma ferramenta de apoio à decisão para investimentos em tecnologias de manufatura avançada, também conhecida como Indústria 4.0. A pesquisa usa uma abordagem bibliométrica para identificar tendências e lacunas na literatura existente. Os resultados indicam que, embora os métodos financeiros tradicionais sejam amplamente utilizados, eles têm limitações diante da complexidade interdisciplinar da Indústria 4.0. A análise revela uma predominância de abordagens híbridas e difusas, destacando a necessidade de integrar critérios qualitativos e quantitativos. Este estudo contribui ao mapear as principais tendências e oportunidades de pesquisa, propondo a integração de critérios estratégicos, sociais e ambientais aos métodos multicritério para ajuda de tomada de decisão. Espera-se que as descobertas ajudem os gerentes e pesquisadores a tomar decisões mais eficazes e a gerenciar a transformação digital em organizações industriais.

PALAVRAS-CHAVE. Indústria 4.0, Investimentos, Métodos multicritério para ajuda de tomada de decisão.

ADM – Métodos Multicritério para Ajuda de Tomada de Decisão.

ABSTRACT

This article analyses the application of multi-criteria decision-aid methods as a decision support tool for investments in advanced manufacturing technologies, also known as Industry 4.0. The research uses a bibliometric approach to identify trends and gaps in the existing literature. The results indicate that although traditional financial methods are widely used, they have limitations in the face of the interdisciplinary complexity of Industry 4.0. The analysis reveals a predominance of hybrid and fuzzy approaches, highlighting the need to integrate qualitative and quantitative criteria. This study contributes by mapping the main trends and research opportunities, proposing integrating strategic, social, and environmental criteria into multi-criteria decision-aid methods. Hopefully, the findings will help managers and researchers make more effective decisions and manage digital transformation in industrial organizations.

KEYWORDS. Industry 4.0, Investment, Multi-criteria decision-aid.

ADM - Multi-Criteria Decision-Aid Methods.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212660
https://proceedings.science/p/212660?lang=pt-br

1. Introdução

Este artigo analisa a aplicação de métodos para apoio à decisão multicritério (ADM), como ferramenta de apoio à decisão em investimentos em tecnologias de manufatura avançada, também conhecidas como Indústria 4.0 (I4). O setor industrial está direcionando esforços para integrar a manufatura inteligente às cadeias de suprimentos, destacando o papel do smart working nos próximos anos [Meindl *et al.*, 2021].

Embora a adoção dessas tecnologias possa proporcionar benefícios significativos [Bednar; Welch, 2020], muitas empresas ainda enfrentam desafios na implementação da transformação digital, em função da complexidade dos processos e das incertezas associadas aos investimentos [Frank; Dalenogare; Ayala, 2019].

Os critérios financeiros tradicionais, como payback, retorno sobre investimento, taxa interna de retorno e valor presente líquido, têm sido amplamente utilizados na avaliação de investimentos [Lefley, 1996; Sureka *et al.*, 2022; Swamidass; Waller, 1990]. Entretanto, esses critérios apresentam limitações diante da complexidade interdisciplinar inerente à I4 [Almeida *et al.*, 2023]. Frequentemente, as decisões baseiam-se apenas em análises financeiras ou gerenciais, limitando a efetividade dos investimentos tecnológicos [Bertoncel; Erenda; Meško, 2018].

Esse cenário revela uma lacuna na literatura quanto à utilização de métodos mais adequados à avaliação de investimentos em I4. Diante disso, este estudo busca analisar como os ADM têm sido empregados nesse contexto, identificando oportunidades de pesquisa e propondo a integração de critérios estratégicos ao uso desses métodos. Espera-se, assim, contribuir para uma gestão mais eficaz da transformação digital nas organizações industriais.

2. Revisão de literatura

A bibliometria é um método de análise quantitativa aplicado à produção científica [Donthu *et al.*, 2021]. Por meio de estudos bibliométricos, é possível identificar tendências e lacunas que orientam a realização de novas pesquisas. Os dados bibliométricos permitem traçar o perfil da evolução de determinado tema, destacando padrões e tendências emergentes. Essa abordagem possibilita que os autores identifiquem tópicos relevantes que podem direcionar esforços futuros de investigação [Tamala *et al.*, 2022].

De acordo com Raj *et al.* (2020) muitas empresas ainda enfrentam dificuldades em suas jornadas de transformação digital. Essa transição tem se mostrado complexa, impondo desafios significativos às organizações [Dalenogare *et al.*, 2018].

Adicionalmente, os métodos tradicionais de avaliação financeira mostram-se inadequados para apoiar decisões estratégicas de investimento, devido às incertezas, riscos e julgamentos subjetivos envolvidos, servindo, muitas vezes, apenas como diretrizes gerais [Alkaraan, 2020].

Nesse contexto, ferramentas de apoio à decisão de investimentos podem contribuir significativamente para a transformação digital nas empresas, ao auxiliar gestores no tratamento das complexidades e incertezas associadas à adoção de tecnologias da I4. Os métodos ADM, especificamente, permitem uma avaliação integrada de múltiplos critérios, contribuindo para a redução de riscos, otimização da alocação de recursos e aprimoramento estratégico do processo decisório. Esses métodos têm sido aplicados em diversas áreas de negócios [Almeida *et al.*, 2023; Ishizaka; Siraj, 2018].

Compreender como os métodos de ADM têm sido utilizadas na tomada de decisão sobre investimentos em tecnologias da I4 pode favorecer o desenvolvimento de novos modelos e aplicações, beneficiando gestores e pesquisadores no contexto industrial.

3. Objetivos

O principal objetivo deste artigo é apresentar uma visão geral sobre a aplicação dos ADM como ferramenta de apoio à tomada de decisão em investimentos relacionados a tecnologias da I4. Busca-se, também, identificar tendências e lacunas na literatura existente, além de sugerir direções para pesquisas futuras.

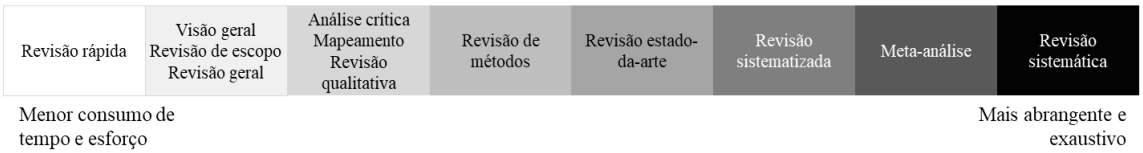
DOI: 10.59254/sbpo-2025-212660
https://proceedings.science/p/212660?lang=pt-br

O artigo está estruturado em mais três seções principais: a Seção 4 descreve a metodologia de pesquisa adotada; a Seção 5 apresenta e discute os principais resultados obtidos; a Seção 6 reúne as conclusões do estudo à luz dos objetivos propostos; e a Seção 7 aponta as limitações deste trabalho.

4. Metodologia

Em revisões de literatura, existem diferentes abordagens, que vão desde revisões rápidas, menos profundas e exaustivas, até revisões sistemáticas, que são mais abrangentes, detalhadas e demoradas [Grant; Booth, 2009]. A Figura 1 traz algumas destas abordagens:

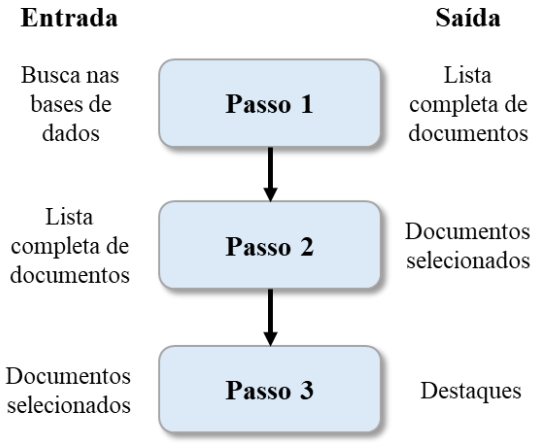
Figura 1 – Espectro de abordagens para revisões de literatura



Fonte: Adaptado de Ruiz Bargueño *et al.* (2021).

Este estudo apresenta uma visão geral da aplicação de métodos de ADM em decisões de investimento na I4, com foco em destacar as contribuições relevantes e apontar tendências e direções para pesquisas futuras. A revisão bibliográfica adaptou o método de quatro etapas proposto por Ruiz Bargueño *et al.* (2021) para revisões do estado da arte, excluindo a análise aprofundada dos artigos, considerada desnecessária para os objetivos desta pesquisa. As três primeiras etapas, ilustradas na Figura 2, foram suficientes para o escopo deste trabalho:

Figura 2 – Passos da revisão de literatura



Fonte: Adaptado de Ruiz Bargueño *et al.* (2021).

No Passo 1, utilizou-se o banco de dados Scopus (www.scopus.com, acessado em fev. 2025), devido ao seu acesso institucional gratuito, uniformidade nas cadeias de pesquisa e integração com o software empregado no Passo 3. No Passo 2, os documentos obtidos foram analisados manualmente em planilhas eletrônicas para verificar sua relevância ao estudo. Os mais relevantes foram selecionados para análise aprofundada, a fim de obter um panorama das pesquisas mais significativas, como método ADM e aplicação do estudo. No Passo 3, conduzido com o software VOSViewer (www.vosviewer.com, acessado em fev. 2025), as publicações mais recentes foram agrupadas e examinadas para identificar padrões, relações e tendências emergentes.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212660
https://proceedings.science/p/212660?lang=pt-br

5. Resultados e Discussões

A seguir, apresentam-se os principais resultados obtidos com a análise bibliométrica.

5.1. Panorama geral das publicações

As buscas iniciais realizadas na base de dados Scopus, utilizando título, resumo e palavras-chave (TITLE-ABS-KEY), resultaram nos dados apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 – Documentos sobre investimentos, ADM e I4

Busca em título, resumo ou palavras-chave	Artigos	Revisões	Outros	Total
("investment" and "decision")	562.850	49.924	305.748	918.522
("industry 4.0") or ("I4.0")	63.980	6.498	70.650	141.128
("multi-criteria" and "decision" and "analysis") or ("multi-criteria" and "decision" and "making") or ("multiple-criteria" and "decision" and "making") or ("multiple"and "criteria" and "analysis") or "mcda" or "mcdm"	37.054	1.145	13.904	52.103
("investment" and "decision") and ("industry 4.0") or ("I4.0") and ("multi-criteria" and "decision" and "analysis") or ("multi-criteria" and "decision" and "making") or ("multiple-criteria" and "decision" and "making") or ("multiple"and "criteria"and "analysis") or "mcda" or "mcdm"*	56	1	25	82

Fonte: Scopus.

A busca por documentos indexados no Scopus, utilizando a função TITLE-ABS-KEY, resultou em apenas 82 ocorrências. A análise bibliométrica revela que, embora os temas *decisão de investimento*, ADM e I4 sejam abordados individualmente na literatura, a interseção desses temas apresenta uma produção científica limitada. Este padrão indica uma lacuna na pesquisa existente, sugerindo que a aplicação de métodos de ADM na tomada de decisão de investimentos em Indústria 4.0 constitui um campo promissor para investigação. A predominância de artigos em relação a revisões e outros tipos de documentos em todas as buscas sinaliza uma área de pesquisa ativa, com um fluxo contínuo de novas contribuições.

5.2. Principais abordagens e aplicações

Como o propósito deste estudo não é realizar uma revisão de literatura, mas fornecer uma visão geral sobre o tema, optou-se pela análise aprofundada apenas dos artigos mais relevantes. Para este fim, foram escolhidos os 10 artigos mais citados sobre o tema na base de dados Scopus, com o objetivo de obter um panorama dos métodos aplicados, objetivos e influências, incluindo aspectos regionais (Tabela 2).

A análise crítica destes artigos demonstra que os métodos mais citados utilizam abordagens híbridas ou fuzzy, devido à necessidade de integrar critérios qualitativos e quantitativos e incorporar incertezas presentes na tomada de decisão sobre investimentos em tecnologias da I4 [Ertugrul Karsak; Tolga, 2001; Gupta; Kumar; Wasan, 2021].

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212660
https://proceedings.science/p/212660?lang=pt-br

Tabela 2 – Documentos mais citados sobre investimentos, I4 e ADM

Referência	ADM	Citações	Aplicação
Gupta, Kumar e Wasan (2021)	BWM e CoCoSo	268	Avaliar o desempenho sustentável de empresas de manufatura, integrando práticas da I4, produção sustentável e economia circular (setor de manufatura na Índia).
Ertugrul Karsak e Tolga (2001)	TOPSIS e Fuzzy Sets	239	Análise de alternativas de sistemas de manufatura avançados, integrando critérios econômicos e estratégicos (setor de manufatura na Turquia).
Karsak (2002)	Cash Flow Integrated Fuzzy Sets	139	Analisar sistemas flexíveis de manufatura integrando critérios econômicos e estratégicos (setor de manufatura em geral, não dedicado a um país específico).
Bai e Sarkis (2017)	Neighborhood Rough Set e Cumulative Prospect Theory	107	Avaliação da flexibilidade operacional e ambiental, identificando oportunidades e ameaças (setor de manufatura em geral, não dedicado a um país específico).
Gupta *et al.* (2022)	BBWM	93	Identificar barreiras à adoção de tecnologias de digitalização que afetam o setor de logística e cadeia de suprimentos durante uma pandemia nas organizações de manufatura da Índia.
Cali *et al.* (2022)	EDAS	35	Priorizar casos de uso de blockchain no setor energético, especialmente China, União Europeia, Estados Unidos e Índia.
Ojha (2023)	DEMATEL	31	Analisar os fatores que impulsionam a integração do lean manufacturing com as tecnologias da I4 (setor de manufatura da Índia).
Huang, Chicoma e Huang (2019)	AHP	31	Identificar e avaliar os fatores que afetam a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 nas micro, pequenas e médias empresas (MSME) de manufatura no Peru.
Poormizaee, Hosseini e Taghizadeh (2022)	VIKOR e Fuzzy Sets	29	Avaliar e priorizar estratégias de mineração inteligente, considerando critérios sociais, econômicos, culturais e tecnológicos no Irã.
Debnath *et al.* (2023)	BWM	27	Analisar os fatores críticos de sucesso para a implementação da I4 na cadeia de suprimentos (setor farmacêutico de Bangladesh).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se a evolução dos temas ao longo do tempo, partindo de abordagens predominantemente econômicas e estratégicas no início dos anos 2000 para tópicos mais recentes relacionados à sustentabilidade, digitalização e resiliência, destacando as novas demandas globais impostas por desafios como pandemias e mudanças socioambientais.

Também é possível notar a ausência de predominância de um método específico, o que pode ser explicado por alguns fatores:

- Diversidade de contextos e problemas de decisão, exigindo abordagens distintas quanto à complexidade, natureza dos dados e critérios;

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212660
https://proceedings.science/p/212660?lang=pt-br

- Constante evolução das demandas da Indústria 4.0, que requer métodos adaptativos para lidar com novos critérios como sustentabilidade, resiliência e aspectos sociotécnicos;
- Frequente surgimento de métodos híbridos, valorizados pela flexibilidade e pela maior capacidade analítica;
- Influências regionais, que favorecem métodos específicos conforme a experiência e a tradição locais no uso de técnicas multicritério.

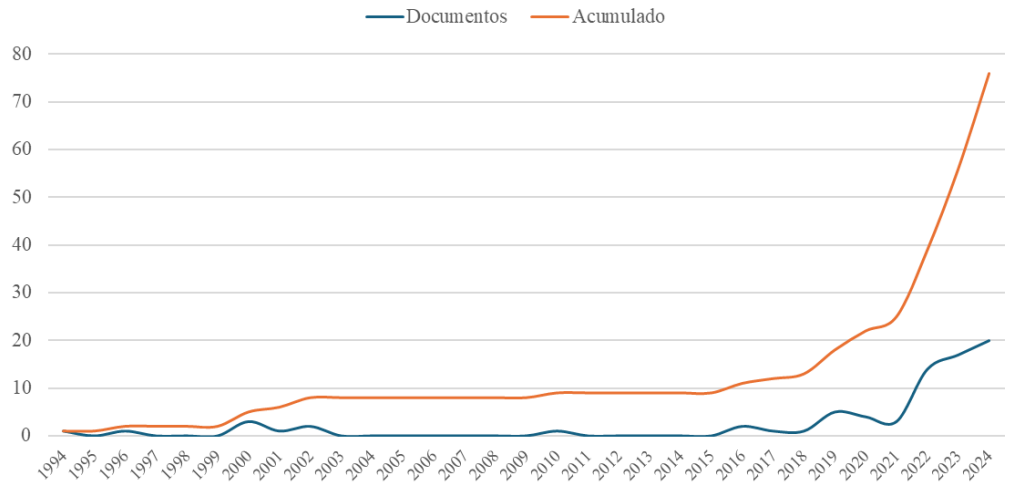
A análise dos métodos ADM mais citados revela predominância de abordagens compensatórias, como Analytic Hierarchy Process (AHP), Best Worst Method (BWM) e Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), frequentemente combinadas a modelagens fuzzy para tratar a subjetividade e a incerteza dos investimentos em Indústria 4.0. Também se destacam métodos com fundamentos causais (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL), probabilísticos (Bayesian Best Worst Method, BBWM) e comportamentais (Cumulative Prospect Theory), ampliando a diversidade epistemológica. Essa variedade reflete a complexidade do tema, mas também indica a ausência de um referencial metodológico consolidado. Observa-se ainda a escassa aplicação de métodos não compensatórios, como Élimination Et Choix Traduisant La Réalité (ELECTRE) e Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE), que poderiam contribuir em decisões com restrições éticas ou critérios não-substituíveis.

Também se nota maior presença de métodos orientados à estrutura de preferências (AHP e BWM). Embora robustos, esses métodos pressupõem coerência e estabilidade nas preferências, o que pode ser um desafio em contextos dinâmicos como o da I4.

Em relação à regionalidade, os estudos realizados em países emergentes, como Índia, Turquia, Bangladesh, Peru e Irã, tendem a destacar aspectos específicos das barreiras locais, critérios sociais e estratégicos particulares às suas realidades, enquanto contextos internacionais ou globais enfatizam critérios amplos de desempenho e integração tecnológica.

Para avaliar o interesse e a maturidade da comunidade acadêmica sobre o tema, foi feita a análise de publicações de 1994 a 2024. A Figura 3 traz a distribuição anual de documentos desde 1994 (curva azul) e o total acumulado (curva laranja). Esta última fornece uma perspectiva sobre a evolução da maturidade do tema, refletindo o volume de publicações ao longo do tempo.

Figura 3 – Documentos por ano



Fonte: Scopus.

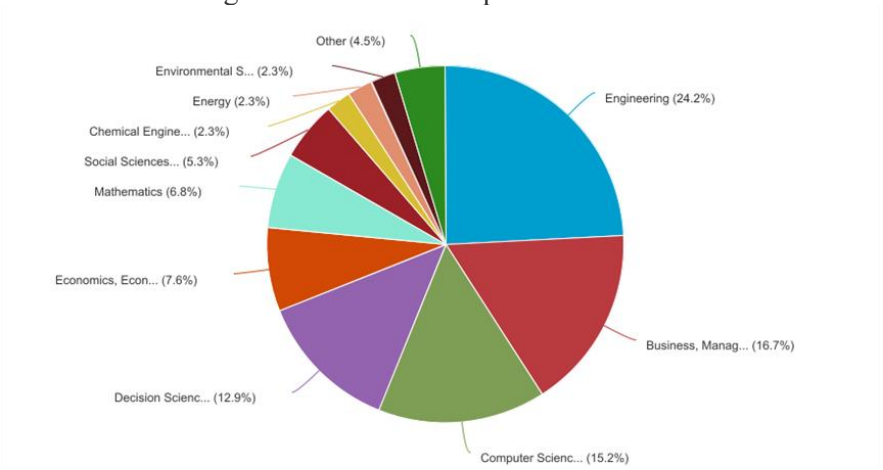
A evolução mostra que houve um aumento significativo na produção científica sobre a aplicação de MCDM na decisão de investimentos em I4 a partir de 2020, em que 78% dos

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212660
https://proceedings.science/p/212660?lang=pt-br

documentos foram publicados após esse período. Este crescimento indica um interesse crescente da comunidade científica no tema, possivelmente motivado pela rápida evolução das tecnologias da I4 e a necessidade de métodos de tomada de decisão mais robustos e adaptáveis.

Analisar a distribuição dos artigos sobre a aplicação de ADM na decisão de investimentos em I4 por áreas de interesse é importante para entender o panorama da pesquisa e aplicação dessas metodologias. Essa análise pode revelar quais áreas estão mais explorando o ADM de forma mais ativa para otimizar investimentos na I4. Também auxilia na identificação de áreas com potencial de aplicação do ADM, mas que ainda não exploraram totalmente suas vantagens.

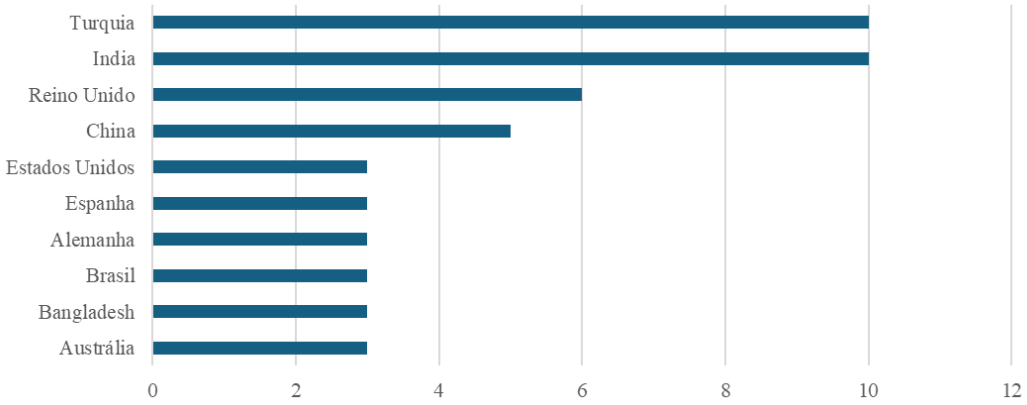
Figura 4 – Documentos por área temática



Fonte: Scopus.

A distribuição de artigos por área de interesse reforça a natureza multidisciplinar da pesquisa sobre a aplicação de ADM na decisão de investimentos em I4. A predominância da área de Engenharia indica a forte ligação entre a I4 e as aplicações práticas de métodos de otimização e tomada de decisão. As áreas de Ciência da Computação e Negócios e Gestão sugerem a importância da análise de dados, modelagem computacional e aspectos estratégicos e gerenciais na tomada de decisões de investimento. A área de Ciência da Decisão destaca o papel central dos métodos ADM nesse contexto, trazendo um viés mais teórico em comparação às naturezas práticas e aplicadas encontradas nas áreas de Engenharia e Gerenciamento de Negócios.

Figura 5 – Documentos por países



Fonte: Scopus.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212660
https://proceedings.science/p/212660?lang=pt-br

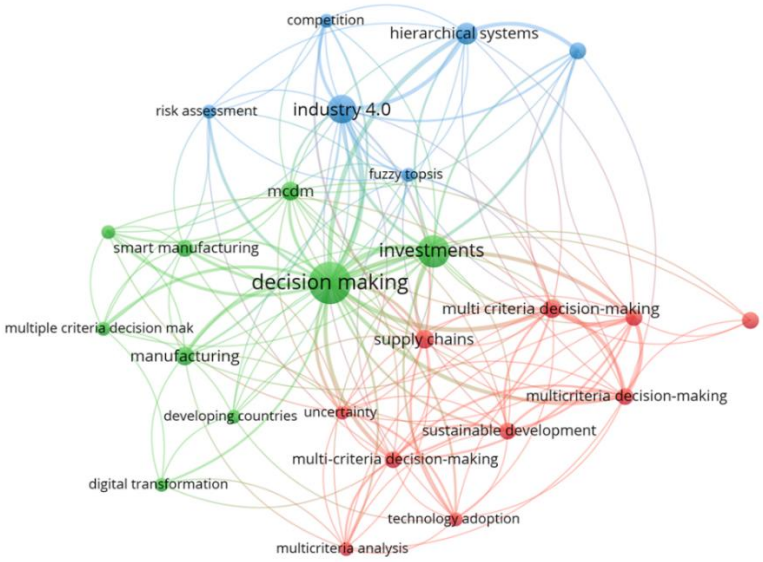
A Figura 5 apresenta os dez países que mais publicaram artigos sobre o tema, com base na nacionalidade do primeiro autor. A presença expressiva de países emergentes na economia global, como Turquia, Índia, China, Brasil e Bangladesh, ao lado de nações pioneiras na adoção de tecnologias avançadas de manufatura, como Reino Unido, Alemanha e Estados Unidos, demonstra o interesse desses países em ferramentas que acelerem sua transformação digital na manufatura.

5.3. Tendências e oportunidades

Uma análise adicional foi procurar por trending topics analisando as palavras-chave dos artigos mais recentes encontrados na Scopus de 2020 a 2025, o que corresponde a 64 documentos, ou 78,0% do total (Figura 6).

Os dados foram analisados usando o VOSViewer, uma ferramenta para construir e visualizar redes bibliométricas. Ela emprega o recurso de criação de gráficos com base em dados bibliográficos para analisar as co-ocorrências entre todas as palavras-chave. Um total de 25 palavras-chave com pelo menos quatro ocorrências foi identificado, resultando em 25 núcleos interconectados. A contagem total foi usada para criar o gráfico. O tamanho dos círculos representa a força da co-ocorrência, enquanto as distâncias entre os itens e as linhas ilustram seus relacionamentos e conexões.

Figura 6 – Relação de co-ocorrências de documentos publicados entre 2020 e 2025



Fonte: VOSViewer.

O gráfico de rede mostra três clusters (10-9-6 itens), distribuídos da seguinte forma: o **Cluster 1** (vermelho) associa as decisões de investimento à sustentabilidade, adoção tecnológica e incertezas, com destaque para impactos nas cadeias produtivas e a necessidade de ferramentas que integrem múltiplos critérios estratégicos. O **Cluster 2** (verde) concentra-se na aplicação dos métodos de ADM em ambientes industriais, especialmente em países emergentes, com foco na modernização e transformação digital. Já o **Cluster 3** (azul) aborda o desenvolvimento de métodos quantitativos para suporte à decisão, evidenciando o uso crescente de modelos híbridos e técnicas fuzzy, como fuzzy TOPSIS, para tratar a complexidade e a incerteza dos investimentos em I4.

A partir da análise dos clusters, é possível destacar algumas tendências para a agenda de pesquisa:

- Adoção de métodos híbridos e fuzzy (ex: Fuzzy-AHP, Fuzzy-TOPSIS), como resposta à complexidade e incerteza das decisões;

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212660
https://proceedings.science/p/212660?lang=pt-br

- Atenção crescente a contextos emergentes, com foco em países em desenvolvimento e suas particularidades estruturais;
- Integração da sustentabilidade como critério decisório, refletindo a incorporação de critérios ESG (ambiental, social e governança);
- Expansão da análise para cadeias de suprimento, evidenciando a preocupação com decisões colaborativas e impactos sistêmicos.

A Tabela 3 a seguir apresenta as principais oportunidades de pesquisa no uso de métodos de ADM para decisão de investimentos em I4, com base na análise dos cinco artigos mais citados sobre o tema na base de dados Scopus, publicados entre 2023 e 2025. Os estudos destacados envolvem a exploração de técnicas estatísticas e de inteligência artificial, a avaliação de fatores críticos de sucesso, a integração de dimensões sociotécnicas, financeiras e organizacionais, além do desenvolvimento de modelos de decisão voltados à implementação de tecnologias em distintos contextos setoriais.

Tabela 3 – Oportunidades de pesquisa sobre investimentos, ADM e I4

Referência	Citações	Oportunidades de pesquisa
Ojha (2023)	31	• Exploração da abordagem SEM (Structural Equation Modeling), que abranja um grande conjunto de respondentes relevantes; • Validação dos resultados através de casos reais em indústrias que já estão na sua jornada da I4.
Debnath *et al.* (2023)	27	• Explorar como regulamentações podem ser desenvolvidas para promover a adoção da Indústria 4.0 • Identificação e análise dos fatores críticos de sucesso (FCS) para a implementação da Indústria 4.0 na indústria farmacêutica, especialmente em economias emergentes; • Explorar como as tecnologias da Indústria 4.0 podem ser conectadas à sustentabilidade da cadeia de suprimentos; • Uso de frameworks baseado no método BBWM, para priorizar e analisar os fatores críticos de sucesso identificados; • Estudos futuros podem explorar como as equipes de pesquisa e desenvolvimento (PD) podem ser estruturadas e gerenciadas para maximizar a inovação e a sustentabilidade.
Yazdani *et al.* (2023)	27	• Focar em como diferentes tecnologias educacionais podem ser utilizadas para desenvolver essas competências digitais de maneira eficaz e inclusiva; • Utilização de números D e conjuntos fuzzy para melhorar a adaptabilidade dos modelos de decisão em ambientes dinâmicos.
Almeida *et al.* (2023)	25	• Avaliação dos critérios sociotécnicos para a adoção de tecnologias da I4, considerando a complexidade das interações entre aspectos tecnológicos, sociais, organizacionais e ambientais; • Criação de modelos de decisão mais completos que integrem critérios econômicos, financeiros e sociotécnicos para apoiar a avaliação de investimentos em tecnologias da I4; • Realização de estudos de caso em diferentes setores industriais para validar e refinar o framework proposto, considerando as especificidades de cada setor.
Zhai *et al.* (2023)	19	• Explorar a aplicação de conjuntos fuzzy Pythagorean em diferentes contextos e setores; • Utilização de diferentes métodos de ADM, como CoCoSo, MARCOS, ou WASPAS para avaliação de riscos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212660
https://proceedings.science/p/212660?lang=pt-br

Esta tabela oferece insights para pesquisadores interessados no tema. No entanto, a abrangência do campo de pesquisa pode ser ampliada, já que a seleção, neste caso, se restringiu aos cinco documentos mais citados apenas. Outros critérios para ordenar os artigos também podem ser considerados.

6. Conclusões

Este estudo analisou a aplicação dos métodos de ADM como instrumentos de apoio à tomada de decisão em investimentos voltados às tecnologias da I4. A partir da revisão bibliográfica e da análise bibliométrica conduzida na base de dados Scopus, observou-se que, embora os temas *decisão de investimento*, I4 e ADM sejam amplamente discutidos de forma individual, a interseção entre esses domínios ainda constitui uma lacuna significativa na literatura científica.

Os resultados revelam que, apesar do crescimento da aplicação de métodos ADM nesse contexto, o campo ainda carece de maior maturidade conceitual e padronização metodológica. A predominância de abordagens híbridas e fuzzy reflete a tentativa de contornar as limitações dos modelos tradicionais diante da complexidade, subjetividade e incerteza que caracterizam os investimentos em tecnologias avançadas. A diversidade de critérios e métodos utilizados aponta para uma fragmentação do conhecimento, dificultando a consolidação de práticas replicáveis.

A análise de clusters identificou três eixos temáticos predominantes – sustentabilidade e adoção tecnológica, aplicações industriais e desenvolvimento metodológico – evidenciando uma tendência de especialização e segmentação da pesquisa. Diante disso, os achados deste estudo ressaltam a importância do desenvolvimento de frameworks integradores que conciliem rigor analítico e flexibilidade decisória, especialmente em ambientes industriais complexos e contextos regionais emergentes. Espera-se que este mapeamento bibliométrico sirva como base para novas investigações e apoie gestores e pesquisadores na formulação de modelos mais robustos e adequados às exigências da transformação digital.

7. Limitações

Este estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. A estratégia de busca restringiu-se à base Scopus e ao uso de termos padronizados como “MCDM” e suas variações, o que pode ter excluído trabalhos relevantes que empregam métodos multicritério específicos sem mencionar essa sigla, como AHP, TOPSIS ou VIKOR, por exemplo. Além disso, a seleção dos artigos mais citados para análise aprofundada pode introduzir viés temporal, favorecendo publicações consolidadas em detrimento de estudos recentes.

A análise bibliométrica concentrou-se na frequência de publicações e co-ocorrência de palavras-chave, sem explorar outras métricas como coautoria, cocitação ou fator de impacto dos periódicos. Por fim, embora o estudo contribua com um mapeamento temático e epistemológico, não propõe ou valida um modelo aplicado, o que representa uma oportunidade para futuras pesquisas empíricas no campo da decisão multicritério aplicada à Indústria 4.0.

8. Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro, processo n.º 2023/14761-5.

Referências

ALKARAAN, F. Strategic investment decision-making practices in large manufacturing companies: A role for emergent analysis techniques?. **Meditari Accountancy Research**, [*s. l.*], v. 28, n. 4, p. 633–653, 2020.

ALMEIDA, R. P. *et al.* How to assess investments in industry 4.0 technologies? A multiple-criteria framework for economic, financial, and sociotechnical factors. **Production Planning and Control**, [*s. l.*], v. 34, n. 16, p. 1583–1602, 2023.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212660
https://proceedings.science/p/212660?lang=pt-br

BAI, C.; SARKIS, J. Improving green flexibility through advanced manufacturing technology investment: Modeling the decision process. **International Journal of Production Economics**, [*s. l.*], v. 188, p. 86–104, 2017.

BEDNAR, P. M.; WELCH, C. Socio-Technical Perspectives on Smart Working: Creating Meaningful and Sustainable Systems. **Information Systems Frontiers**, [*s. l.*], v. 22, n. 2, p. 281–298, 2020.

BERTONCEL, T.; ERENDA, I.; MEŠKO, M. Managerial early warning system as best practice for project selection at a smart factory. **Amfiteatru Economic**, [*s. l.*], v. 20, n. 49, p. 805–819, 2018.

CALI, U. *et al.* Prioritizing Energy Blockchain Use Cases Using Type-2 Neutrosophic Number-Based EDAS. **IEEE Access**, [*s. l.*], v. 10, p. 34260–34276, 2022.

DALENOGARE, L. S. *et al.* The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, [*s. l.*], v. 204, p. 383–394, 2018.

DEBNATH, B. *et al.* Assessing the critical success factors for implementing industry 4.0 in the pharmaceutical industry: Implications for supply chain sustainability in emerging economies. **PLoS ONE**, [*s. l.*], v. 18, n. 6 June, 2023.

DONTHU, N. *et al.* How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, [*s. l.*], v. 133, p. 285–296, 2021.

ERTUGRUL KARSAK, E.; TOLGA, E. Fuzzy multi-criteria decision-making procedure for evaluating advanced manufacturing system investments. **International Journal of Production Economics**, [*s. l.*], v. 69, n. 1, p. 49–64, 2001.

FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, [*s. l.*], v. 210, p. 15–26, 2019
GRANT, M. J.; BOOTH, A. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. **Health Information & Libraries Journal**, [*s. l.*], v. 26, n. 2, p. 91–108, 2009.

GUPTA, H. *et al.* Strategies to overcome barriers to innovative digitalisation technologies for supply chain logistics resilience during pandemic. **Technology in Society**, [*s. l.*], v. 69, 2022.

GUPTA, H.; KUMAR, A.; WASAN, P. Industry 4.0, cleaner production and circular economy: An integrative framework for evaluating ethical and sustainable business performance of manufacturing organizations. **Journal of Cleaner Production**, [*s. l.*], v. 295, p. 126253, 2021.

HUANG, C.-J.; CHICOMA, E. D. T.; HUANG, Y.-H. Evaluating the factors that are affecting the implementation of industry 4.0 technologies in manufacturing MSMEs, the case of Peru. **Processes**, [*s. l.*], v. 7, n. 3, 2019.

ISHIZAKA, A.; SIRAJ, S. Are multi-criteria decision-making tools useful? An experimental comparative study of three methods. **European Journal of Operational Research**, [*s. l.*], v. 264, n. 2, p. 462–471, 2018.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212660
https://proceedings.science/p/212660?lang=pt-br

KARSAK, E. E. Distance-based fuzzy MCDM approach for evaluating flexible manufacturing system alternatives. **International Journal of Production Research**, [*s. l.*], v. 40, n. 13, p. 3167–3181, 2002.

LEFLEY, F. The payback method of investment appraisal: A review and synthesis. **International Journal of Production Economics**, [*s. l.*], v. 44, n. 3, p. 207–224, 1996.

MEINDL, B. *et al.* The four smarts of Industry 4.0: Evolution of ten years of research and future perspectives. **Technological Forecasting and Social Change**, [*s. l.*], v. 168, 2021.

OJHA, R. Lean in industry 4.0 is accelerating manufacturing excellence – A DEMATEL analysis. **The TQM Journal**, [*s. l.*], v. 35, n. 3, p. 597–614, 2023.

POORMIRZAEE, R.; HOSSEINI, S.; TAGHIZADEH, R. Smart mining policy: Integrating fuzzy-VIKOR technique and the Z-number concept to implement industry 4.0 strategies in mining engineering. **Resources Policy**, [*s. l.*], v. 77, p. 102768, 2022.

RAJ, A. *et al.* Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. **International Journal of Production Economics**, [*s. l.*], v. 224, 2020.

RUIZ BARGUEÑO, D. *et al.* State of the Art Review on the Analytic Hierarchy Process and Urban Mobility. **Mathematics**, [*s. l.*], v. 9, n. 24, p. 3179, 2021.

SUREKA, R. *et al.* Five decades of research on capital budgeting – A systematic review and future research agenda. **Research in International Business and Finance**, [*s. l.*], v. 60, 2022.

SWAMIDASS, P. M.; WALLER, M. A. A classification of approaches to planning and justifying new manufacturing technologies. **Journal of Manufacturing Systems**, [*s. l.*], v. 9, n. 3, p. 181–193, 1990.

TAMALA, J. K. *et al.* A bibliometric analysis of sustainable oil and gas production research using VOSviewer. **Cleaner Engineering and Technology**, [*s. l.*], v. 7, 2022.
YAZDANI, M. *et al.* Resilient sustainable investment in digital education technology: A stakeholder-centric decision support model under uncertainty. **Technological Forecasting and Social Change**, [*s. l.*], v. 188, p. 122282, 2023.

ZHAI, T. *et al.* Assessment of the agriculture supply chain risks for investments of agricultural small and medium-sized enterprises (SMEs) using the decision support model. **Economic Research-Ekonomska Istraživanja**, [*s. l.*], v. 36, n. 2, 2023

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212660
https://proceedings.science/p/212660?lang=pt-br