



ConBRepro

XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

I CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

04 a 06 de dezembro de 2024

Energias Limpas nas Engenharias

Modelos para Avaliação da Indústria 4.0: Uma Análise Bibliométrica

Larissa da Silva Freire

Universidade Federal de Goiás – UFG

Camila Fabricio Poltronieri

Universidade Federal de Goiás – UFG

Fernanda Cristina Teotonio Dias Troysi

Universidade Federal de Goiás – UFG

Resumo: Os modelos de maturidade desempenham um papel importante ao mapear requisitos e facilitar diagnósticos que definem o nível de desenvolvimento organizacional, permitindo identificar com precisão os estágios alinhados às estratégias da empresa. Além dos modelos de maturidade, abordagens, como os modelos de prontidão e avaliação, também foram criadas para cumprir essa finalidade. No contexto industrial, essas ferramentas têm ganhado destaque devido ao interesse em alcançar os níveis de excelência propostos pela Indústria 4.0. No entanto, a criação de diversos modelos para atender às necessidades específicas de cada organização ressalta a importância de padronização. Este artigo tem como objetivo analisar o cenário atual das pesquisas sobre modelos para avaliação na Indústria 4.0 por meio de uma análise bibliométrica, na qual foram selecionadas palavras-chave e aplicados operadores booleanos e de proximidade para extrair informações relevantes, das bases de dados *Web of Science* (WOS) e *Scopus*. O tratamento dos dados foi realizado na plataforma RStudio®, seguido por uma análise visual utilizando *Bibliometrix* e *Power BI*, resultando em 397 publicações no período de 2016 a 2024. Os dados coletados oferecem quantitativos sobre autores, número de publicações, países e métricas como fator de impacto e percentil dos periódicos. Os resultados revelam que os modelos de maturidade são os mais utilizados nas pesquisas sobre Indústria 4.0, com um total de 126 ocorrências no ano de 2024. No entanto não se observou um crescimento significativo no número de publicações sobre o tema, isso representa uma oportunidade para a aplicação dos modelos nas indústrias e, futuramente, para contribuir com o avanço da pesquisa na área.

Palavras-chave: Modelo de Maturidade, Nível de Prontidão, Modelo de Avaliação, Capacidade, Indústria 4.0.

Models for Evaluating Industry 4.0: A Bibliometric Analysis

Abstract:

Maturity models play an important role in mapping requirements and facilitating diagnostics that define the level of organizational development, allowing for precise identification of stages aligned with company strategies. In addition to maturity models, approaches such as readiness and assessment models have also been created to fulfill this purpose. In the industrial context, these tools have gained prominence due to the interest in achieving the levels of excellence proposed by

Industry 4.0. However, the creation of various models to meet the specific needs of each organization highlights the importance of standardization. This article aims to analyze the current research landscape on assessment models in Industry 4.0 through a bibliometric analysis, in which keywords were selected, and Boolean and proximity operators were applied to extract relevant information from the Web of Science (WOS) and Scopus databases. Data processing was conducted on the RStudio® platform, followed by visual analysis using Bibliometrix and Power BI, resulting in 397 publications from 2016 to 2024. The collected data provide quantitative insights on authors, publication count, countries, and metrics such as journal impact factor and percentile. The results reveal that maturity models are the most used in Industry 4.0 research, with a total of 126 occurrences in 2024. However, no significant growth in the number of publications on the topic was observed, representing an opportunity for the application of these models in industries and, in the future, to contribute to the advancement of research in the field.

Keywords: Maturity Model, Readiness Level, Assessment Model, Capability, Industry 4.0.

1. Introdução

As indústrias do setor de manufatura operam em larga escala com o objetivo de maximizar a produtividade, garantir alta qualidade nos produtos e reduzir custos (BALKAN; AKYUZ, 2023). Esses objetivos estão cada vez mais alinhados com o conceito da Indústria 4.0 (I4.0), que promove uma abordagem técnica focada na integração de máquinas com redes inteligentes, automação, digitalização e o uso de tecnologias avançadas para viabilizar uma manufatura totalmente digital. (ULLAH *et al.*, 2024).

Em 2011, na Feira Industrial de Hannover, foi apresentado o conceito de I4.0, que se consolidou como um plano estratégico voltado para a modernização e digitalização da manufatura, esse conceito posicionou a Alemanha como uma das nações mais competitivas no cenário industrial e destacou o interesse de grandes potências econômicas. (ALCÁCER, 2021). A partir desse ponto, o conceito de I4.0 rapidamente emergiu influenciando indústrias ao redor do mundo com o objetivo de potencializar os processos através da autonomia das máquinas, possibilitando melhorias na manutenção, eficiência e, principalmente, na gestão (ZUTIN *et al.*, 2022). A adoção de estratégias da I4.0 resulta em um aumento significativo no desempenho das tecnologias, no entanto, elas demandam altos investimentos e aumentam a dificuldade nas operações das organizações, fazendo com que seus requisitos pareçam, em muitos casos, inviáveis (ALSHEYADI, 2024). Colli *et al.*, (2018) define que o processo de conhecimento para entendimento sobre I4.0 torna-se uma atividade complexa para muitas organizações e por tanto possuem requisitos e objetivos distintos.

Para melhorar a viabilidade do conceito da I4.0 para empresas de manufatura e aumentar o conhecimento sobre novas tecnologias visando alcançar o maior valor competitivo, tornou-se crucial identificar os estágios de desenvolvimento para entender as etapas e quais os requisitos básicos da I4.0, podendo trazer benefícios, aumentar a capacidade e reduzir os custos (ZELLER *et al.*, 2018). De forma a superar as barreiras impostas pelas constantes mudanças tecnológicas, é fundamental desenvolver novas ferramentas e modelos que alinhem as estratégias organizacionais aos princípios da I4.0, os quais permitem uma avaliação rigorosa da maturidade organizacional (SCHUMACHER *et al.*, 2016), facilitando a identificação dos diferentes estágios de desenvolvimento. Ao longo dos últimos anos, várias pesquisas estão sendo desenvolvidas para avaliar, por meio de modelos, como: modelo de maturidade, modelos de prontidão e modelos de avaliação para identificar a capacidade das indústrias para a adoção da I4.0.

Hein-Pensel *et al.*, (2022) define que a maturidade é descrita como um processo gradual, qualitativo ou quantitativo, que segue uma sequência de níveis definidos por requisitos. A aplicação de modelos de maturidade, adaptados a diferentes tipos de indústrias permite avaliar a maturidade das organizações industriais para a implementação eficaz da I4.0,

resultando em maior alinhamento tecnológico e melhoria contínua, acelerando a transformação digital além de compreender os estágios de desenvolvimento permite identificar lacunas e direcionar esforços estratégicos (BHAMRIYA; GUPTA, 2024).

Para Antony *et al.*, (2023) os modelos de prontidão são ferramentas com dimensões para avaliar e permitem que as organizações estejam adequadamente preparadas para integrar as tecnologias da I4.0, minimizando riscos dessas tecnologias, garantindo que fatores críticos sejam considerados. Sassi *et al.*, (2024) discute modelos de prontidão no contexto da implementação de tecnologias da I4.0, destacando que a prontidão é um estado de preparação de uma organização para realizar uma tarefa, enquanto a maturidade se refere ao nível de desenvolvimento alcançado em relação a essa tarefa.

Enquanto para Bibby e Dehe (2018) afirma que um modelo de avaliação pode ajudar as empresas a entenderem seu estado atual e a desenvolverem estratégias para avançar em direção à maturidade da I4.0. Os autores apresentam um modelo de avaliação para medir o nível de implementação das tecnologias da I4.0 focando em três dimensões. No contexto da agricultura inteligente, os autores Uztürk e Büyükoçkan (2024) definiram o modelo de avaliação como uma estrutura robusta que visa facilitar a seleção e priorização de tecnologias da I4.0 e pode ser uma ferramenta valiosa para impulsionar a adoção de tecnologias inovadoras na agricultura, promovendo eficiência, segurança e sustentabilidade.

Diante disso, o artigo tem como objetivo analisar o cenário das pesquisas sobre modelos para avaliação aplicados à I4.0, com o intuito de identificar e responder à seguinte questão: Qual o principal tipo de modelo, dentre os apresentados anteriormente (modelo de maturidade, modelo de prontidão e modelo de avaliação), para avaliação da Indústria 4.0? Para responder a essa pergunta, usou-se a análise bibliométrica. Essa abordagem permite, por meio da produção acadêmica, visualizar as tendências do tipo de modelo por palavras-chave e em que fase se encontra o tema. A Seção 2, Método de pesquisa, apresenta o método de pesquisa utilizado, ou seja, as etapas da pesquisa bibliométrica. A Seção 3, Resultados, expõe os dados analisados, ilustrados em figuras, reunindo informações sobre a pesquisa. Finalmente, a Seção 4, Conclusões, expõe os principais pontos discutidos e propõe orientações para estudos posteriores.

2. Método de pesquisa

A análise bibliométrica tem se consolidado como uma importante ferramenta para mapear o desenvolvimento de áreas de pesquisa e identificar tendências globais, principais autores e redes de colaboração científica (ÖZTÜRK *et al.*, 2024). O objetivo da análise bibliométrica neste artigo foi fornecer uma visão abrangente sobre os modelos para avaliação, com o intuito de mapear as principais pesquisas realizadas no contexto da I4.0. Para isso, foram realizadas buscas nas plataformas *Scopus* e *Web of Science* (WoS) reconhecidas por sua abrangência mundial e relevância, permitindo a coleta e análise de dados robustos que refletem o estado atual das pesquisas com destaque nas bases em estudos na área de engenharia. A análise forneceu dados como os principais autores e países que tem se destacado nessa temática, identificou palavras-chave recorrentes, mapeou colaborações entre autores e visualizou o número de publicações ao longo dos anos, além de identificar os documentos mais citados e suas fontes mais relevantes.

A coleta de dados para a análise bibliométrica foi realizada em 16 de outubro de 2024. A seleção das principais palavras-chave foi fundamental para a construção da *string*, foram utilizados operadores booleanos, como 'OR' e 'AND'. Além disso, utilizaram-se operadores de proximidade: "PRE/x" para a base de dados *Scopus*, onde o operador "PRE" exige que o primeiro termo preceda o segundo por um número específico de palavras, sendo "x" o

número de palavras que deve separá-los, e “NEAR” para a WoS, no qual o operador “NEAR/x” encontra registros onde dois termos aparecem próximos, com até “x” palavras de distância entre eles, permitindo a busca por termos em uma ordem específica ou próximos entre si, conforme apresentado na Tabela 1.

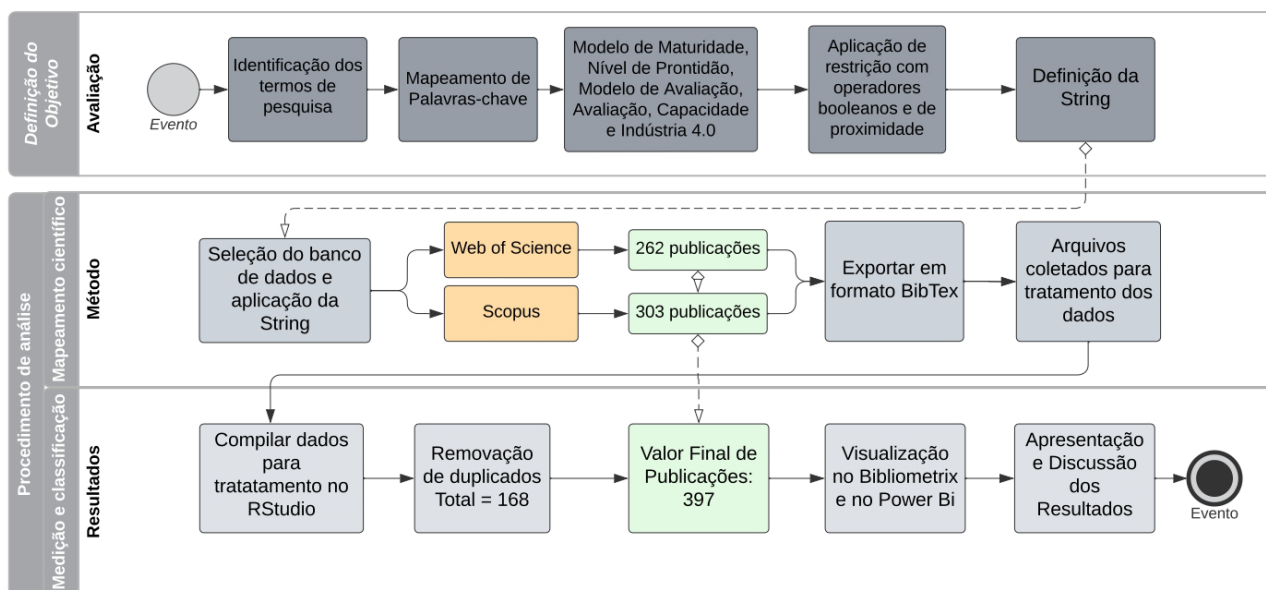
Tabela 1 – Strings de Busca

Base de Dados	Strings	Total
Scopus	(TITLE-ABS-KEY ((matur* PRE/1 model*) OR (readine* PRE/1 level*) OR (assessment PRE/1 model*) OR (model* PRE/1 capa?it*)) AND TITLE ("i4*0" OR "fourth AND industr* AND revolut*" OR "industr* 4.0")	303
Web of Science	TOPIC (matur* NEAR/1 model* OR model* NEAR/1 capa?it* OR assessment NEAR/1 model* OR readine* NEAR/1 level*) AND TITLE ("i4*0" OR "fourth AND industr* AND revolut*" OR "industr* 4.0")	262

Fonte: Autoras (2024)

O processo de busca inicial identificou um total de 565 publicações. Nesta etapa, não foram aplicados filtros ao banco de dados, nem definidos limites temporais, o único critério utilizado foi a remoção de publicações duplicadas. Após a exclusão dos artigos duplicados, os dados resultantes foram extraídos em formato Bibtex e unificados em uma estrutura organizada de dados dentro de uma planilha, gerada pelo software RStudio® (versão 2024.09.0 Build 375). A visualização dos dados foi realizada utilizando a ferramenta de código aberto Bibliometrix (ARIA; CUCCURULLO, 2017) e no *software Power BI* da *Microsoft Corporation* (2024), que possibilitou a construção de *dashboards* interativos e dinâmicos. Com esse refinamento, os valores finais de publicação foram reduzidos a um total de 397 publicações. O fluxograma geral do processo de pesquisa está representado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma de Análise Bibliométrica



Fonte: Autoras (2024)

3. Resultados

Esta seção apresenta uma análise dos artigos selecionados a partir da utilização da *string*. O resultado é uma visão abrangente do atual entendimento sobre os modelos avaliados para alcançar a I4.0, com base na produção científica analisada entre 2016 e 2024, que abrange 256 fontes e 397 documentos. A idade média desses documentos é de 3,06 anos, com uma taxa de crescimento de 26,87%, impulsionada pela criação de diversos modelos, resultando em um total de 998 palavras-chave fornecidas pelos autores. O número total de autores envolvidos, 1.135, reforça a importância da cooperação acadêmica, com apenas 18 publicando de forma individual. A produção em coautoria internacional obteve 16,62% entre colaborações de pesquisadores de diferentes países, conforme a Tabela 2.

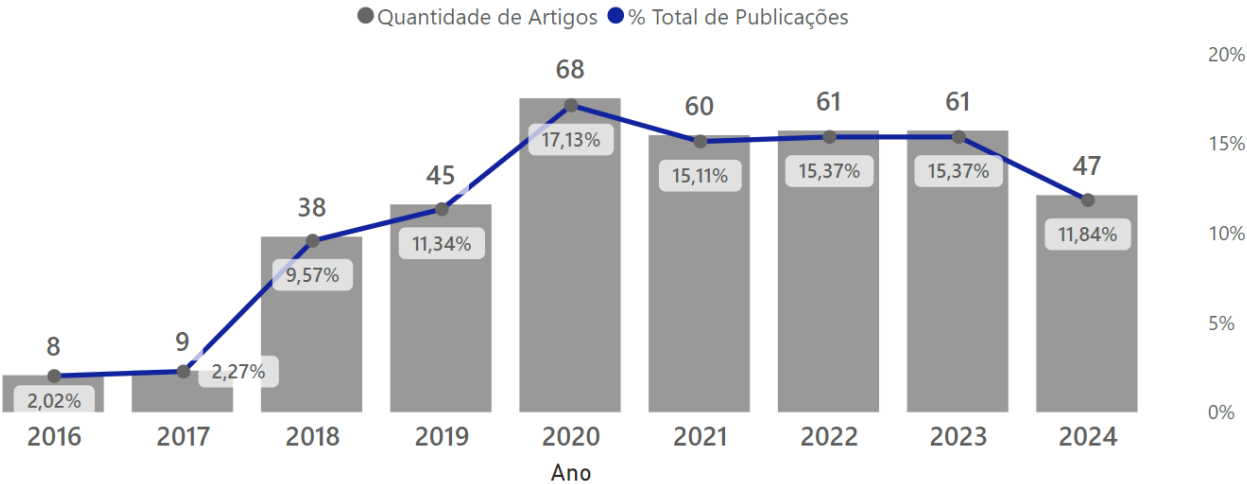
Tabela 2 - Resumo Geral do Banco de Dados

Informações Principais	Resultado
Período de tempo	2016:2024
Fontes	256
Documentos	397
Idade Média dos documentos	3,06
Taxa de Crescimento de Publicações	26,87 %
Média de citações por documento	4,43
Autores	1135
Autoria Única	18
Coautoria Internacional	16,62 %
Palavras-chave dos autores	998

Fonte: Autoras (2024)

Após o lançamento oficial da I4.0 em 2011, onde se concentrava apenas em ambientes fabris e restrita ao país fundador observou-se um avanço na pesquisa para análise de aplicações e benefícios, resultando em um aumento no número de publicações. Os dados, iniciados em 2016, correspondem ao ano em que foram publicados os primeiros artigos sobre a tema, apresentaram um crescimento contínuo ao longo do tempo, alcançando seu pico de publicações em 2020, com 17,13% em relação ao total de publicações no período. Após 2020, houve uma redução no número de publicações de 68 para 61 em 2023, representando uma diminuição aproximada de 10,29% na quantidade de publicações ao longo desse período. Isso sugere que o tema pode estar se aproximando e um estado de consolidação entre os pesquisadores, conforme demonstrado na Figura 2.

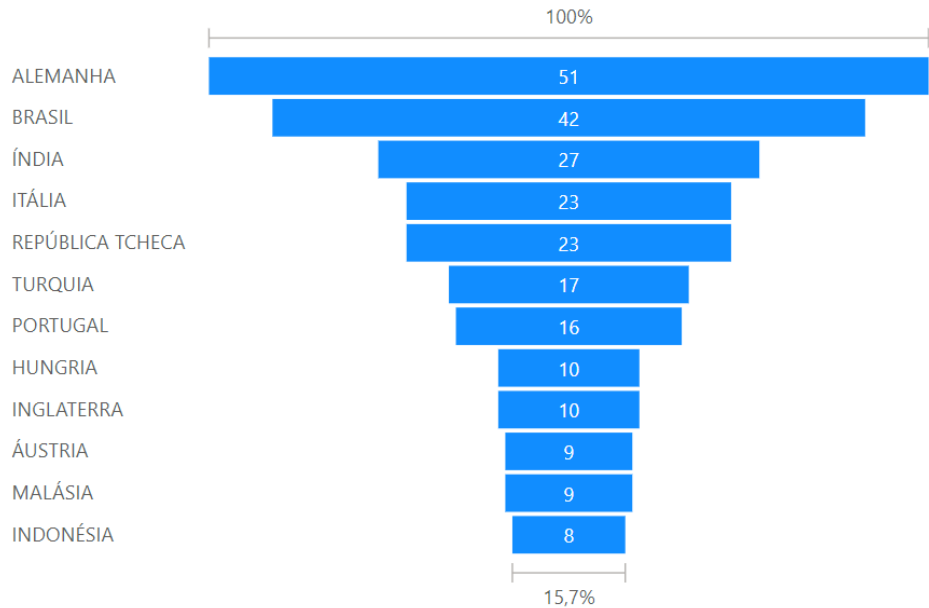
Figura 2 - Distribuição Anual de Artigos



Fonte: Autoras (2024)

A análise das tendências de publicações científicas em diferentes países pode fornecer *insights* sobre o desenvolvimento da pesquisa e suas implicações e foram considerados os valores de publicações por países maiores que 7 publicações. Na análise representada pela Figura 3, observa-se que a Alemanha se destaca com o maior número de publicações devido ao fato de ser o país precursor da I4.0, refletindo seu interesse e liderança mundial no tema e demonstrando a importância de investir em pesquisas que explorem novas abordagens e aprimoramento de tecnologias. O aumento no número de publicações brasileiras indica um esforço significativo para compreender a aplicação da I4.0, e neste caso o Brasil ocupa o segundo lugar, destacando a crescente relevância do tema no cenário internacional.

Figura 3 - Quantidade de Produção Científica Mundial



Fonte: Autoras (2024)

Para a análise das publicações por autor, foram identificados os autores com o maior número de artigos publicados. Para cada autor, foram analisadas as categorias de quantidade de artigos, H-index, citações e país, nos dados da Scopus, que é a base com o maior número de publicações, de acordo com a Tabela 1. Para evitar duplicidade de informações, foram considerados os autores Dikhanbayeva, Angreani e Rauch, enquanto Turkeyilmaz (em colaboração com Dikhanbayeva), Wicaksono e Vijaya (em colaboração com Angreani) e Matt (em colaboração com Rauch) não foram incluídos, pois aparecem nas mesmas publicações com resultados idênticos. A Tabela 3 apresenta a lista desses autores, organizada pela quantidade de publicações.

Tabela 3 - H-index dos autores na base Scopus

Autores	Artigos	H-index	Citações	País
Basl, Josef	9	6	166	República Tcheca
Dikhanbayeva, Dinara	6	4	67	Cazaquistão
Rauch, Erwin	6	4	89	Itália
Angreani, Linda	5	2	60	Indonésia
Leyh, C.	5	4	257	Alemanha
Vidanagamachchi, K.	4	3	43	Austrália
Schumacher, A.	4	3	1318	Áustria

Fonte – Scopus (2024), adaptado pelas autoras

Ao analisar os autores mais relevantes em publicações sobre modelos para a I4.0, observa-se que Basl possui o maior número de participações em artigos, com *h-index* relativamente alto, ou seja, dos 9 artigos publicados por ele, 6 deles tiveram ao menos 6 citações cada um deles. Ao se olhar os artigos individualmente, o autor chegou a ter 75 citações somente em um único artigo no ano de 2019. Também é importante ressaltar que esse *h-index* é relativo somente aos artigos referentes a esse tema, ou seja, esse *h-index* não reflete o *h-index* geral do autor, o qual também inclui outras publicações sobre outros temas. O autor Dikhanbayeva publicou seu primeiro artigo sobre a avaliação de modelos de maturidade da I4.0 em 2020, que já acumula 49 citações, enquanto suas demais publicações variam entre 3 e 6 citações, resultando em um *h-index* de 4 e todos os 6 artigos foram publicado em coautoria com Turkeyilmaz do Cazaquistão.

Como representante da Alemanha, país com o maior volume de publicações, Figura 3, Leyh destaca-se com um *h-index* elevado em relação ao número de suas publicações, possui artigos com citações acima de 8, mas seu maior destaque vai para o seu primeiro artigo com 174 citações publicado em 2016 relacionado ao modelo de nível de maturidade com foco na I4.0. Schumacher, devido ao seu elevado número de citações, é considerado um dos precursores no tema. Sua primeira publicação na revista *Procedia CIRP*, intitulada “Um modelo de maturidade para avaliar a prontidão e maturidade da I4.0 das empresas de manufatura” (SCHUMACHER *et al.*, 2016, p. 161, tradução nossa), já acumula 1.122 citações e descreve sobre um modelo de maturidade que serve como uma ferramenta para as empresas avaliarem suas capacidades atuais em relação à I4.0.

A próxima análise foi relacionada a palavras-chave. Para isso, utilizou-se o software Power BI, o qual possibilita a criação de gráficos para analisar as palavras-chave no período de 2016 a 2024, resultando em uma matriz de frequência com um gradiente de cores, onde a intensidade reflete a frequência das palavras, facilitando a identificação visual dos termos mais recorrentes e das tendências ao longo do período analisado, conforme ilustrado na Figura 4. Na configuração da escala de cores do gráfico, definiu-se o valor mínimo como 0,5, com uma cor de baixa intensidade, o valor central como 20, com intensidade média e o valor máximo como 50, representado pela cor mais intensa. Observa-se um aumento significativo no uso dos termos “*Maturity Model*” e “*Industry 4.0*”, indicando que o modelo de maturidade se tornou uma referência importante na preparação da indústria, reforçando que é amplamente utilizado para aprimorar a capacidade organizacional e orientar sua implementação aos conceitos da I4.0 (ÜNLÜ *et al.*, 2023).

Figura 4- Distribuição de palavras-chave no período

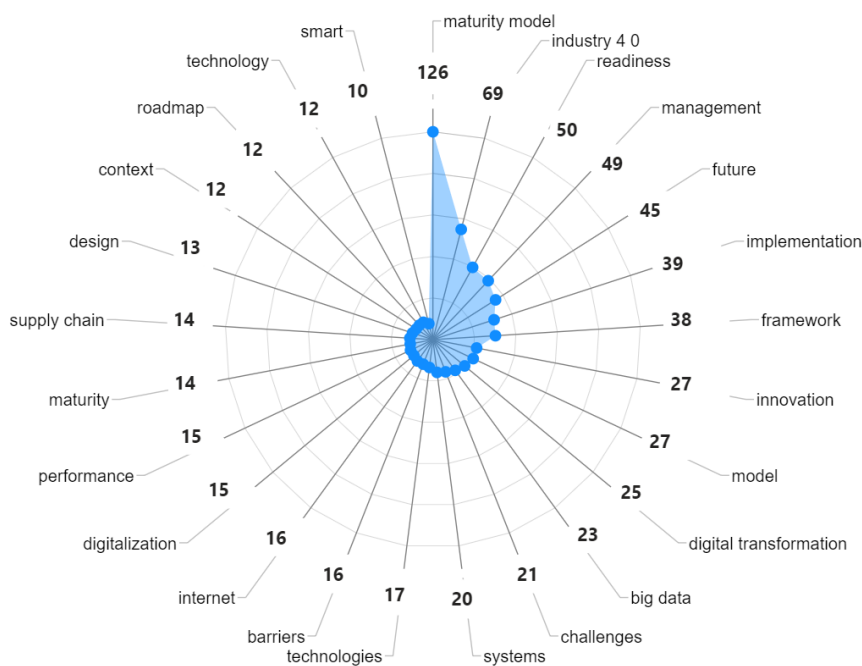
Atributo	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
MATURITY MODEL	3	12	24	44	65	85	109	126
INDUSTRY 4.0		10	17	30	39	52	66	69
MANAGEMENT	1	4	7	18	27	34	41	49
FUTURE	1	3	6	15	22	28	35	45
READINESS		2	3	9	16	20	36	50
FRAMEWORK		3	5	10	18	23	31	38
IMPLEMENTATION		1	3	8	13	19	32	39
INNOVATION		1	2	10	14	19	22	27
MODEL	1	1	4	8	11	15	20	27
DIGITAL TRANSFORMATION		3	3	8	9	17	20	25

Fonte: Autoras (2024)

Além disso, o aumento de ocorrências em "*readiness*" e "*framework*" reforça a importância de preparar as empresas para essa transição, destacando os desafios na aplicação prática desses modelos. As palavras "Management" e "Future" sugerem que os modelos de maturidade deverão ser implementados progressivamente, conforme as empresas evoluam e alcancem os requisitos necessários para aderir plenamente à I4.0. Outra palavra-chave como "*digital transformation*" também indicam um dos princípios fundamentais da I4.0.

Em outra perspectiva para a visualização dos dados de 2024, no Power BI, com um gráfico de radar, conforme ilustrado na Figura 5, ressaltando que os dados de 2024 se referem de janeiro até outubro de 2024 devido ao fato de o ano não ter sido finalizado quando a pesquisa foi realizada. Os resultados reforçam que "*maturity model*" é a palavra-chave de maior evidência nas publicações, embora as palavras "*readiness*" e "*model*" não apareçam juntas no eixo, a análise sugere que a ideia os modelos de prontidão estão sendo explorada de forma integrada. Nos eixos as palavras "*management*", "*future*" e "*implementation*" estão alinhados para a implementação dos modelos de maturidade para indústrias do setor de manufatura, apresentando valores elevados no gráfico. Por outro lado, os eixos com valores inferiores demonstram variações das principais palavras que caracterizam os requisitos da I4.0, indicando pontos de atenção e oportunidades para o fortalecimento desses termos.

Figura 5 - Palavras-chave mais utilizadas em 2024



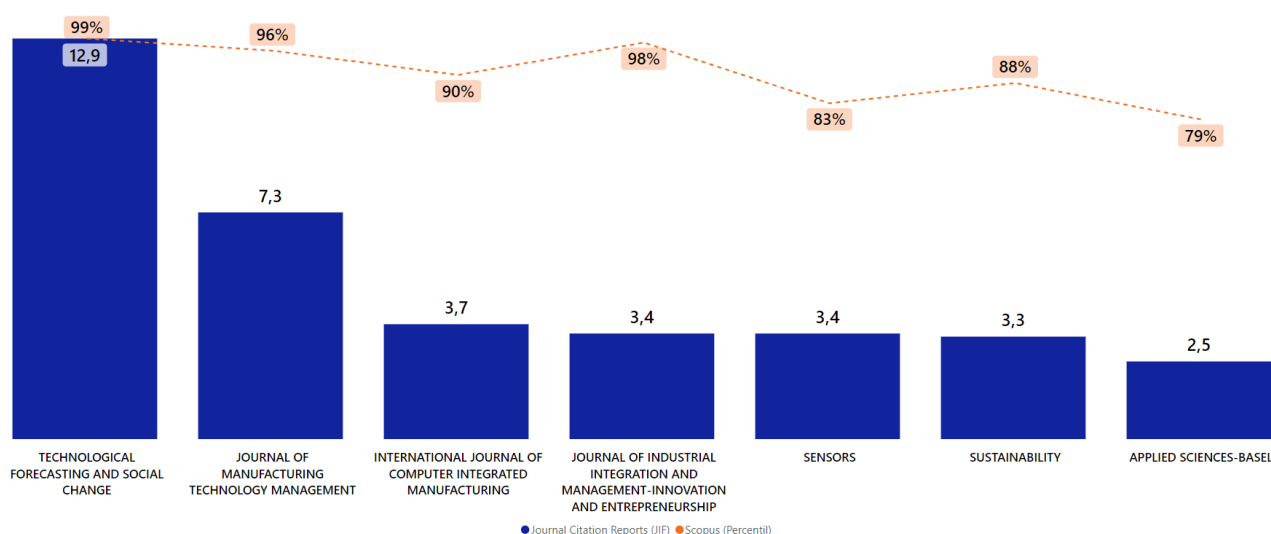
Fonte: Autoras (2024)

Com base nos dados do *Journal Citation Reports* (JCR) e da *Scopus*, realizou-se uma avaliação do Fator de Impacto do Periódico, no inglês *Journal Impact Factor* (JIF), que representa a soma total das citações recebidas por cada periódico, permitindo uma análise abrangente das revistas, considerando tanto a quantidade quanto a qualidade dos artigos publicados e o percentil que indica a posição relativa de uma fonte em seu campo de assunto (CLARIVATE ANALYTICS, 2024).

Foram selecionadas as revistas com o maior volume de publicações no Bibliometrix, e coletados os valores do fator de impacto de cada uma no *Journal Citation Reports* (JCR), incluindo o percentil da *Scopus*. Esses dados foram representados em um gráfico de colunas e linhas no Power Bi, conforme mostrado na Figura 6. Entre as revistas analisadas,

a *Technological Forecasting and Social Change* apresenta um JIF de 12,9 no JCR, com um percentil de 99% na *Scopus*, além disso, na categoria de ranking ela ocupa a posição 5ª de 443 na categoria *Business and International Management*. A revista *Journal of Manufacturing Technology Management* apresenta um percentil de 98%, na categoria *Industrial and Manufacturing Engineering*, ocupa a 19 posição entre 384 revistas. Os resultados indicam que a *Technological Forecasting and Social Change* possui uma relevância significativa no campo. Em contrapartida, as variações de percentil das demais revistas estão, em média, em 71,5% na *Scopus*. Isso sugere a necessidade de uma análise mais aprofundada dessas revistas em relação ao JIF, que é inferior a 4 pontos.

Figura 6 – Análise de JIF e percentil das principais revistas



Fonte: Autoras (2024)

4. Conclusões

Este artigo analisa o cenário atual das pesquisas sobre modelos de avaliação na I4.0. Para isso realizou-se uma análise bibliométrica, utilizando palavras-chave nas plataformas *Scopus* e *Web of Science* (WoS). Os dados foram extraídos e tratados no software RStudio®, e visualizados na ferramenta de código aberto Bibliometrix, além do software Power BI. Com isso, foi possível quantificar as publicações, identificar os países com maior interesse no tema e os principais autores em termos de quantidade de publicações.

Os resultados indicam uma estabilidade no número de publicações desde 2020, sugerindo um estado de consolidação nas pesquisas sobre o tema, apresenta também uma participação expressiva dos brasileiros com relação a publicações na área. O Brasil vêm sendo impulsionado por programas governamentais e iniciativas de instituições de ciência, tecnologia e inovação, que promovem e ampliam os estudos sobre a I4.0 (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2021). Este trabalho fornece uma visão abrangente sobre os modelos de avaliação na I4.0, através da identificação de ocorrência por palavras-chave que apresentou um aumento significativo no uso dos termos "*Maturity Model*" e "*Industry 4.0*", no qual indica que esses modelos aplicados na I4.0 são os mais utilizados. No entanto, algumas pesquisas revelam que autores ainda não conseguem distinguir o tipo de modelo a ser utilizado para a I4.0, caracterizando uma lacuna no artigo devido à falta de padronização nesse tema.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a investigação dos modelos de maturidade por meio de uma revisão sistemática da literatura, a fim de identificar questões relevantes para a

avaliação dos modelos de maturidade na I4.0. Outra área promissora é a análise empírica das definições dos conceitos da I4.0, que permitirá uma compreensão mais profunda dos desafios práticos e das vantagens dos modelos de maturidade. Além disso, a investigação de novas metodologias e ferramentas que complementem os modelos existentes representa uma área promissora para pesquisas futuras.

Em resumo, as sugestões para trabalhos futuros visam à consolidação desses modelos e à exploração de novas abordagens que possam contribuir para a efetiva implementação da I4.0 nas organizações, incluindo estudos de caso detalhados que apliquem esses modelos em diferentes setores industriais.

Referências

- ALCÁCER, V.; RODRIGUES, C.; CARVALHO, H.; CRUZ-MACHADO, V. Tracking the maturity of industry 4.0: the perspective of a real scenario. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 116(7–8), 2161–2181, 2021.
- ALSHEYADI, A. K. A literature review on industry 4.0 implementation and performance: a contingency perspective. **The TQM Journal**, v. 36, n. 7, p. 2048–2070, 2024.
- ANTONY, J.; SONY, M.; MCDERMOTT, O. Conceptualizing industry 4.0 readiness model dimensions: an exploratory sequential mixed-method study. **The TQM Journal**, v. 35, n.2, p. 577–596, 2023.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis, **Journal of Informetrics**, v.11, n.4, p. 959-975, 2017.
- BALKAN, D.; AKYUZ, G. A. Labour productivity analysis of manufacturing sector in turkey against eu. **Journal of Business Economics and Management**, v. 24, n.2, p. 245–273, 2023.
- BHAMRIYA, A. K.; GUPTA, M. A holistic approach for assessment of global industry 4.0 maturity level. **Engineering Management Journal**, p. 1-27, 2024.
- BIBBY, L.; DEHE, B. Defining and assessing industry 4.0 maturity levels - case of the defence sector. **Production planning & control**, v. 29, n.12, p. 1030–1043, 2018.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS; Indústria 4.0; Arcabouço normativo para a implementação da Indústria 4.0 no Brasil. Brasília, DF:, 2021. (Série Documentos Técnicos, 29).
- CLARIVATE ANALYTICS. **Using Journal Citation Reports**. Journal Citation Reports. 2024. Disponível em: https://journalcitationreports.zendesk.com/hc/en-gb/articles/28351430970001-Journal-Profile#h_01J7P0B5K1J6HWHMNV374CJXYT. Acesso em: 26 out. 2024.
- COLLI, M.; MADSEN, O.; BERGER, U.; MØLLER, C.; WÆHRENS, B. V.; BOCKHOLT, M. Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0. **IFAC-Papers Online** v. 51, n.11, p. 1347–1352, 2018.
- HEIN-PENSEL, F.; WINKLER, H.; BRÜCKNER, A.; WÖLKE, M.; JABS, I.; MAYAN, I. J.; KIRSCHENBAUM, A.; FRIEDRICH, J.; ZINKE-WEHLMANN, C. Maturity assessment for Industry 5.0: A review of existing maturity models. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 66, p. 200–210, 2023.
- MICROSOFT CORPORATION. *Power BI Desktop* [Software]. Versão: 2.137.751.0 64-bit, 2024. Disponível em: <https://powerbi.microsoft.com/>. Acesso em: 20 out. 2024.

- OSTADI, B.; BARRANI, L.; AGHDASI, M. Developing a strategic roadmap towards integration in Industry 4.0: A dynamic capabilities theory perspective. **Technological Forecasting & Social Change**, 208, 2024.
- ÖZTÜRK, O.; KOCAMAN, R.; KANBACH, D. How to design bibliometric research: an overview and a framework proposal. **Review of Managerial Science**, v.18, p. 3333-3361, 2024.
- SASSI, A., ALI, M. B.; ADRI, A.; IFASSIOUEN, H.; RIFAI, S. The level of readiness for implementing industry 4.0 technologies in the supply chain of moroccan automotive companies. **Advances and applications in statistics**, v.91, n. 5, p. 615–634, 2024.
- SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia CIRP**, v. 52, p.161–166, 2016.
- ULLAH, H.; UZAIR, M.; JAN, Z.; ULLAH, M. Integrating industry 4.0 technologies in defense manufacturing: Challenges, solutions, and potential opportunities. **Array**, v. 23, 2024.
- ÜNLÜ, H.; DEMİRÖRS, O.; GAROUSI, V. Readiness and maturity models for industry 4.0: a systematic literature review. **Journal of Software: Evolution and Process**, v. 36, n. 7, 2024.
- UZTÜRK, D.; BUYUKOZKAN, G. Industry 4.0 technologies in smart agriculture: a review and a technology assessment model proposition. **Technological Forecasting and Social Change**, 208, 2024.
- ZELLER, Violetta. Acatech Industrie 4.0 Maturity Index – A Multidimensional Maturity Model. Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 536, 2018.
- ZUTIN, Gabriel Consoni et al. Readiness levels of Industry 4.0 technologies applied to aircraft manufacturing—a review, challenges and trends. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 120, p. 927-943, 2022.