

# Revolução digital na indústria: um estudo bibliométrico abrangente sobre as inovações tecnológicas e a colaboração interdisciplinares

**Allana Beatriz de Azevedo Barreto**

allana.barreto@discentes.fat.uerj.br

UERJ

**Edilaine Duarte Teixeira**

edilaine.duarte@discentes.fat.uerj.br

UERJ

**Nicole Nogueira de Souza**

nicole.souza@discentes.fat.uerj.br

UERJ

**Thatiana Muylaert Siqueira Menezes**

thatiana.muylaert@fat.uerj.br

UERJ

**Dayana Elizabeth Werderits da Silva**

dayana@fat.uerj.br

UERJ

**Resumo:** A Indústria 4.0 tem revolucionado a manufatura ao integrar tecnologias avançadas, como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Big Data, Computação em Nuvem e Sistemas Ciberfísicos, promovendo maior automação, eficiência e flexibilidade nos processos produtivos. O objetivo do trabalho é mapear como as tecnologias emergentes corroboram o desenvolvimento sustentável e a competitividade industrial. Como aporte teórico, serão apresentados estudos bibliométricos sobre a Indústria 4.0 e a Manufatura Avançada, observando a evolução das publicações e as tendências científicas para a área. Para isso, utilizar-se-á a metodologia de cunho bibliográfico com abordagem quanti-qualitativa, baseando-se em banco de dados reconhecidos, como Scopus e Web of Science, analisando o crescimento da produção acadêmica, autores mais influentes, redes de colaboração e palavras-chave mais recorrentes. Portanto, a manufatura avançada, impulsionada pela Indústria 4.0, representa um campo em expansão, com desafios e oportunidades para inovação e desenvolvimento sustentável.

**Palavras Chave:** indústria 4.0 - manufatura avançada - IA - bibliometria

## 1. INTRODUÇÃO

A quarta revolução industrial tem remodelado o setor produtivo ao incorporar tecnologias inteligentes e conectadas, tornando os sistemas industriais cada vez mais autônomos e eficientes. Esse processo, denominado Indústria 4.0, ultrapassa a automação tradicional ao integrar capacidades computacionais avançadas que transformam a forma de produzir, gerir e inovar.

A escolha pela temática da Indústria 4.0 justifica-se por representar uma mudança paradigmática na concepção, fabricação e entrega de produtos, ao incorporar tecnologias emergentes como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), manufatura aditiva e sistemas ciberfísicos. Diante desse cenário, torna-se cada vez mais relevante compreender como a produção científica tem evoluído em torno dessas transformações e quem são os principais atores envolvidos nesse processo.

A inovação tecnológica, impulsionada pelo conhecimento científico, é um dos pilares para o desenvolvimento sustentável e para o fortalecimento das capacidades industriais, especialmente em países em desenvolvimento. Essa perspectiva está alinhada à meta 9.5 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS<sup>1</sup>), que propõe ampliar quantitativamente a pesquisa científica e aprimorar as capacidades tecnológicas dos setores industriais, reconhecendo que a inovação é o motor de crescimento e de competitividade da sociedade.

Diante desse panorama, este trabalho tem como objetivo geral analisar a produção científica sobre Indústria 4.0 e a manufatura avançada, com ênfase nas inovações tecnológicas e na colaboração interdisciplinar, a partir de um estudo bibliométrico em bases de dados reconhecidas. Especificamente, busca-se identificar os principais autores e Instituições que mais publicam o tema; mapear áreas de estudo e publicações por ano, além de relacionar as tendências observadas com a meta 9.5 do ODS 9, destacando como o avanço da pesquisa contribui para o fortalecimento tecnológico e sustentável da indústria.

A análise bibliométrica permite uma visão estratégica sobre o desenvolvimento do conhecimento na área, identificando lacunas, oportunidades e articulações globais de pesquisa. Dessa forma, o presente estudo se fundamenta pela necessidade de sistematizar e interpretar as contribuições científicas no campo da Indústria 4.0, estabelecendo conexões com o desenvolvimento sustentável e com políticas públicas de inovação tecnológica.

A bibliometria, enquanto método de análise quanti-qualitativa da produção científica, permite mapear o conhecimento acumulado sobre determinado tema, identificando padrões, colaborações, temas emergentes e lacunas de pesquisa. Segundo Pritchard (1969), trata-se de uma técnica que utiliza indicadores estatísticos para descrever aspectos quantitativos da comunicação científica. Complementarmente, Silva e Grácio (2006) destacam sua importância para a gestão da informação e para o planejamento de ações estratégicas em ciência e tecnologia. Com base nessas premissas, este estudo adota uma abordagem quantitativa, de cunho bibliográfico, utilizando bases de dados reconhecidas como *Scopus* e *Web of Science* para análise e visualização dos dados coletados.

Ao longo do artigo, serão apresentados inicialmente os referenciais teóricos sobre a Indústria 4.0, a manufatura avançada e a bibliometria. Em seguida, descrevem-se os procedimentos metodológicos adotados e os critérios de inclusão dos dados. A análise dos resultados contempla os principais autores, instituições e países que lideram a produção

<sup>1</sup> Utilizaremos a abreviação “ODS” ao decorrer do artigo.

científica sobre o tema, bem como os termos mais recorrentes, as redes de coautoria e as tendências emergentes. Por fim, discute-se a relação entre os achados e a meta 9.5 do ODS 9, evidenciando como a pesquisa acadêmica pode contribuir para o fortalecimento tecnológico e sustentável da indústria contemporânea.

## 2. APORTE TEÓRICO

Nesta seção, serão apresentados os conceitos de Indústria 4.0, manufatura avançada e bibliometria, respectivamente.

### 2.1 INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 representa um marco disruptivo na história da industrialização, sendo considerada a quarta revolução industrial. Seu surgimento está associado à introdução de tecnologias digitais integradas aos processos produtivos, promovendo a interconectividade entre máquinas, sistemas e pessoas por meio da Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), *Big Data*, computação em nuvem, realidade aumentada, entre outras ferramentas (Kagermann *et al.*, 2013; Schwab, 2016). A origem do termo remonta a um projeto estratégico alemão voltado à modernização do setor manufatureiro, com o objetivo de reposicionar a Alemanha como líder global em inovação industrial.

De acordo com Rüßmann *et al.* (2015), a Indústria 4.0 possibilita a criação de "fábricas inteligentes" (*smart factories*), caracterizadas por uma maior autonomia, capacidade de autodiagnóstico, descentralização das decisões e adaptação em tempo real às demandas de produção. O principal diferencial desse modelo é o uso intensivo de dados e sua análise para otimização contínua dos processos. As máquinas deixam de ser apenas operadas e passam a comunicar-se entre si e com sistemas centrais de tomada de decisão, formando um ecossistema digital integrado.

Além da eficiência operacional, a Indústria 4.0 também promove mudanças profundas nos modelos de negócios. O foco desloca-se da produção em massa para a personalização em larga escala (*mass customization*), demandando novas abordagens de gestão, logística e relacionamento com o cliente (Lu, 2017). Nesse cenário, os dados tornam-se um ativo estratégico, e o valor competitivo passa a depender da capacidade de processar e de interpretar grandes volumes de informações em tempo real.

Contudo, a transição para esse novo paradigma não ocorre de forma homogênea entre os países. No Brasil, por exemplo, a adoção das tecnologias associadas à Indústria 4.0 encontra barreiras como a baixa maturidade digital das empresas, deficiências na infraestrutura tecnológica, escassez de mão de obra qualificada e limitações nos investimentos em pesquisa e inovação (Santos *et al.*, 2019). Ainda assim, políticas públicas e programas de fomento têm buscado incentivar a transformação digital, sobretudo em setores estratégicos da economia nacional.

### 2.2 MANUFATURA AVANÇADA

A manufatura avançada é uma abordagem que visa a aprimorar os processos industriais por meio da incorporação de tecnologias emergentes e inovações organizacionais. Embora relacionada à Indústria 4.0, a manufatura avançada pode ser compreendida como o conjunto de técnicas e de tecnologias que antecedem ou operam como base para sua implementação, abrangendo automação, controle numérico computadorizado (CNC),

robótica, manufatura aditiva (impressão 3D), simulações digitais, sistemas de execução da manufatura, entre outros (Kusiak, 2018).

O objetivo central da manufatura avançada é aumentar a eficiência produtiva, reduzir custos, melhorar a qualidade dos produtos e adaptar rapidamente os sistemas de produção às variações da demanda. Para isso, ela se apoia em pilares como flexibilidade, integração e capacidade de resposta. Essas capacidades são especialmente valiosas em um ambiente competitivo e globalizado, no qual a agilidade e a inovação determinam a sustentabilidade das empresas.

A manufatura aditiva, por exemplo, permite a criação de peças complexas com menos desperdício de material e maior personalização. Já a robótica colaborativa (cobots) viabiliza a cooperação segura entre humanos e máquinas, aumentando a produtividade sem comprometer a ergonomia ou segurança do trabalho (Lu, 2017). Com o uso de sensores e inteligência artificial, os processos tornam-se autônomos e proativos, capazes de antecipar falhas e otimizar automaticamente parâmetros de produção.

Além dos benefícios operacionais, a manufatura avançada contribui diretamente para os objetivos de sustentabilidade industrial. Tecnologias mais eficientes permitem a redução de consumo energético e de matérias-primas, bem como a diminuição de emissões e resíduos. Esse alinhamento com os princípios da economia circular e da produção limpa é fundamental diante das metas estabelecidas pela Agenda 2030 da ONU. A meta 9.5 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), por exemplo, propõe "aumentar a pesquisa científica e melhorar a capacidade tecnológica dos setores industriais em todos os países" (ONU, 2015), o que está diretamente relacionado ao avanço e à difusão da manufatura inteligente.

### 2.3 BIBLIOMETRIA

A bibliometria é um campo de estudo voltado à análise quantitativa da produção científica. Através de indicadores como número de publicações, citações, coautoria e análise de redes, é possível avaliar o desempenho de autores, instituições, periódicos e países em uma determinada área do conhecimento (Durieux; Genevois, 2010). Nas últimas décadas, essa metodologia tem ganhado destaque por sua capacidade de revelar tendências emergentes, orientar políticas científicas e apoiar decisões estratégicas em pesquisa e desenvolvimento.

Em termos práticos, a bibliometria é amplamente utilizada para mapear o estado da arte de campos complexos e interdisciplinares, como a Indústria 4.0 e a manufatura avançada. Por meio da extração de dados de bases como *Scopus* e *Web of Science*, é possível identificar os pesquisadores mais influentes, as palavras-chave mais frequentes, os temas com maior crescimento de interesse e os clusters de conhecimento em formação (Donthu *et al.*, 2021).

A análise bibliométrica também permite visualizar redes de colaboração entre autores e instituições, o que fornece *insights* valiosos sobre os fluxos de conhecimento e os centros de excelência científica. Estudos recentes apontam que a produção científica sobre Indústria 4.0 está concentrada principalmente em países desenvolvidos, com destaque para China, Alemanha e Estados Unidos (Donthu *et al.*, 2021). No entanto, observa-se um crescimento acelerado da pesquisa em países emergentes, como o Brasil, impulsionado por programas de internacionalização e parcerias interinstitucionais.

O uso da bibliometria, portanto, não apenas contribui para o mapeamento da ciência, mas também para a identificação de oportunidades de cooperação, formulação de políticas de fomento e priorização de investimentos. Em um cenário de constantes transformações

tecnológicas, compreender a dinâmica da produção científica é essencial para alinhar a pesquisa acadêmica às demandas sociais e industriais, promovendo o fortalecimento tecnológico e sustentável da indústria contemporânea.

A seguir, será apresentada a metodologia adotada para a realização deste estudo, detalhando o percurso desenvolvido, os critérios utilizados para a seleção dos dados, as bases de dados consultadas e os procedimentos de análise bibliométrica. Essa etapa visa garantir transparência e rigor científico à pesquisa, permitindo a reprodutibilidade dos resultados e o entendimento aprofundado sobre os caminhos trilhados para a obtenção dos achados.

### 3. METODOLOGIA

Este estudo segue uma abordagem quanti-qualitativa, de caráter bibliográfico, utilizando métodos de análise bibliométrica como ferramenta principal. A adoção dessa metodologia justifica-se pela intenção de mensurar e de sistematizar a produção científica relacionada à Indústria 4.0 e à manufatura avançada, ao mesmo tempo em que busca uma leitura crítica dos padrões identificados, das articulações entre autores e instituições e das lacunas existentes no campo, com base nos dados extraídos.

#### 3.1 FONTES DE DADOS

As bases de dados utilizadas foram a *Scopus* e a *Web of Science* (WoS), reconhecidas pela ampla cobertura e confiabilidade na indexação de publicações científicas<sup>2</sup>. A seleção dessas plataformas assegura o rigor e a relevância dos documentos analisados, além de possibilitar a extração estruturada de metadados necessários para a análise bibliométrica.

#### 3.2 ESTRATÉGIA DE BUSCA

A busca foi realizada em março de 2025, com os seguintes termos em inglês, aplicados aos campos de palavras-chave: *Industry 4.0*, *Advanced Manufacturing* e *Artificial Intelligence*, com a área temática limitada à Engenharia

Foram considerados artigos científicos e revisões publicados entre 2012 e 2025, excluindo-se resumos, comunicações de eventos, editoriais e documentos duplicados. A busca foi refinada para incluir apenas publicações em inglês, por se tratar do idioma predominante nas bases utilizadas.

#### 3.3 VOSVIEWER

A escolha do *software* utilizado nesta pesquisa constituiu uma etapa fundamental do processo metodológico de análise bibliométrica. Diante da necessidade de organizar e de interpretar os dados de forma estruturada, promovendo a identificação de padrões, conexões e tendências na produção científica sobre Indústria 4.0 e manufatura avançada, optou-se pela utilização exclusiva do *VOSviewer*. O *software* destaca-se por suas funcionalidades acessíveis e pela capacidade de gerar mapas científicos a partir de redes de cooperação entre termos, autores e instituições, facilitando a visualização das relações entre os elementos analisados.

De acordo com Donthu *et al.* (2021), ferramentas como o *VOSviewer* são amplamente utilizadas em estudos bibliométricos justamente por possibilitarem representações gráficas baseadas em proximidade, permitindo mapear redes de coautoria, colaboração institucional e termos mais frequentes de maneira eficiente. Em razão dessas características, o *VOSviewer*

<sup>2</sup> Disponível em: <https://encr.pw/Pib3E>. Acesso em: 08 jun. 2025.

mostrou-se adequado para o tratamento e a apresentação visual dos dados neste estudo, contribuindo significativamente para o refinamento analítico e para a construção de *insights* sobre a estrutura do campo investigado.

### 3.4 PESQUISA LIMITADA

Por se tratar de um estudo baseado em dados secundários de domínio público, não foi necessária aprovação ética, conforme ressalta Gil (2008), ao afirmar que pesquisas bibliográficas, com fontes acessíveis publicamente, estão dispensadas de apreciação por comitês de ética, desde que observem critérios de transparência, reproduzibilidade e rigor metodológico. Entre as limitações do estudo, destaca-se a dependência das terminologias utilizadas nas buscas e da indexação nas bases consultadas, o que pode acarretar a exclusão de parte da produção científica relevante, especialmente aquela fora do escopo temático ou linguístico predominante.

Os critérios de seleção e as expressões utilizadas na pesquisa avançada, em ambas bases de dados, foram cuidadosamente delineados e aplicados pelos autores, visando assegurar a relevância e a qualidade do *corpus* analisado.

Inicialmente, definiu-se um recorte temporal compreendido entre os anos de 2012 a 2025. Esse intervalo foi escolhido por abranger o período em que o conceito de Indústria 4.0 passou a ser amplamente difundido na literatura científica, especialmente após sua introdução no contexto industrial alemão em 2011, consolidando-se como um dos principais temas de investigação em engenharia e tecnologia nos anos subsequentes.

Quanto ao critério relacionado ao idioma, entre as opções disponíveis, decidiu-se restringir a pesquisa às publicações em inglês, por ser a língua franca da comunicação científica internacional, concentrando o maior volume de registros. Em seguida, aplicou-se um filtro com base nas áreas de estudo, restringindo a busca à disciplina de Engenharia, por ser o campo que concentra a maior parte das discussões e inovações relacionadas à Indústria 4.0 e à manufatura avançada.

Na fase seguinte, referente à categoria de documento, optou-se por manter exclusivamente o tipo *Article*, com o propósito de garantir maior consistência e comparabilidade entre os dados analisados, uma vez que esse tipo de publicação apresenta estrutura padronizada. Adicionalmente, não delimitou-se a pesquisa a nenhum país, permitindo assim, a análise dos países que mais corroboraram para a pesquisa científica neste âmbito.

Os resultados obtidos após a aplicação dos filtros mencionados são apresentados no quadro a seguir, de forma a sintetizar, de maneira clara e objetiva, as principais informações relacionadas ao processo de seleção do *corpus*. Essa sistematização visa a proporcionar uma visão panorâmica dos critérios adotados, bem como evidenciar a transparência e o rigor metodológico empregados nesta pesquisa.

**Tabela 1:** Número de documentos encontrados na base de dados da *Scopus* e *Web of Science*.

Palavra-chave/Base de dados	<i>Scopus</i>	<i>Web of Science</i>
Indústria 4.0	27.915	392
Manufatura avançada	200	293
Inteligência artificial	49.825	1.805

**Fonte:** Elaborado por autoras.

A expressiva quantidade de documentos identificados nas bases *Scopus* e *Web of Science*, especialmente no que se refere aos termos “Indústria 4.0” e “Inteligência Artificial”, evidencia o vigor e a crescente relevância acadêmica dessas temáticas nos últimos anos. Em contrapartida, observa-se um número consideravelmente menor de publicações associadas à expressão “Manufatura Avançada”, o que pode indicar uma subexploração terminológica ou uma concentração conceitual em outros termos correlatos. Esses dados reforçam a pertinência do presente estudo ao buscar sistematizar e analisar criticamente essa produção científica, apontando tanto os eixos consolidados quanto às lacunas ainda existentes. A seção de resultados e discussão aprofundará essas questões, apresentando os padrões de publicação, a evolução temporal do interesse pelo tema, os principais autores, instituições e redes de colaboração, além das tendências e oportunidades emergentes no campo da Indústria 4.0 e da manufatura avançada.

## 4 DISCUSSÃO E RESULTADOS

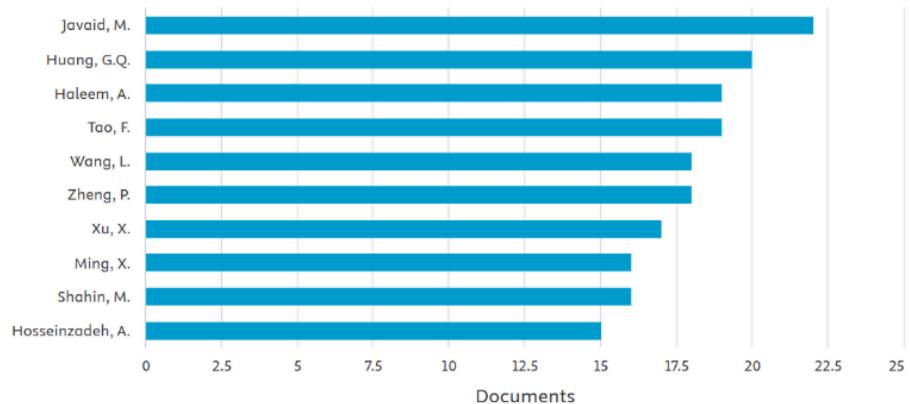
Após a realização dos procedimentos descritos na seção anterior, observa-se que a produção científica sobre Indústria 4.0, manufatura avançada e inteligência artificial encontra-se em constante expansão no cenário internacional. As seções a seguir apresentam os principais resultados obtidos, abordando a evolução do número de publicações nos últimos anos, os autores com maior destaque, bem como as instituições e as áreas de estudo que mais contribuem para o desenvolvimento desse campo do conhecimento.

### 4.1 DIVISÃO DE AUTORES COM MAIOR NÚMERO DE PUBLICAÇÕES

Os dados obtidos por meio da base *Scopus* evidenciam os autores mais produtivos no campo de estudo envolvendo Indústria 4.0, manufatura avançada e inteligência artificial. O gráfico apresentado mostra que o pesquisador Javaid, M. lidera o número de publicações sobre o tema, seguido por Huang, G.Q. e Haleem, A., todos com mais de 15 documentos indexados. Essa concentração de publicações entre os autores mais produtivos indica a consolidação de um núcleo acadêmico internacionalmente reconhecido e engajado na produção de conhecimento técnico-científico de ponta.

### Documents by author

Compare the document counts for up to 15 authors.



**Gráfico 1:** Autores com maiores números de publicações a partir do documento importado.

**Fonte:** Scopus (2025)

Além do volume de publicações, a visualização das redes de coautoria, organizadas com auxílio do software *VOSviewer*, reforça o papel estratégico desses autores no desenvolvimento de colaborações científicas. O segundo gráfico evidencia a formação de clusters cooperativos, nos quais nomes como Huang, George Q., Tao, Fei, Zheng, Pai e Wang, Peng aparecem como nós centrais em suas respectivas redes. Esses clusters representam grupos de pesquisa bem estruturados, cujos trabalhos têm influência significativa na consolidação e na disseminação do conhecimento sobre as tecnologias emergentes ligadas à Indústria 4.0.



**Figura 1:** Rede dos autores com maior notoriedade a partir do documento importado.

**Fonte:** VOSviewer

Observa-se ainda que os autores com maior número de publicações também desempenham papel de articuladores dentro das redes científicas internacionais, estabelecendo vínculos entre pesquisadores de diferentes países e áreas de especialização. Essa integração é especialmente relevante em um campo caracterizado por sua natureza interdisciplinar, que combina engenharia, ciência da computação, automação industrial e análise de dados.

A presença de pesquisadores asiáticos, especialmente da China, é um dos aspectos que se destacam tanto no número de publicações quanto na densidade das redes de colaboração, demonstrando o protagonismo do país na pesquisa e no desenvolvimento tecnológico voltado à transformação digital da indústria.

Esse dados indicam que o avanço da pesquisa científica sobre Indústria 4.0 está ancorado em núcleos colaborativos robustos e internacionalizados, o que reforça a importância de estratégias institucionais voltadas à internacionalização da ciência, como forma de ampliar a inserção de pesquisadores de países em desenvolvimento nessas redes globais de produção e difusão do conhecimento.

#### 4.2 DIVISÃO DE DOCUMENTOS PUBLICADOS POR ANO

A distribuição temporal dos documentos relacionados à Indústria 4.0, manufatura avançada e inteligência artificial evidencia uma trajetória de crescimento contínuo e acelerado ao longo da última década. Conforme demonstrado no gráfico, observa-se um aumento gradual de publicações a partir de 2015, com um salto expressivo a partir de 2019, coincidindo com a ampliação do debate internacional sobre transformação digital, digitalização da indústria e sustentabilidade nos processos produtivos.

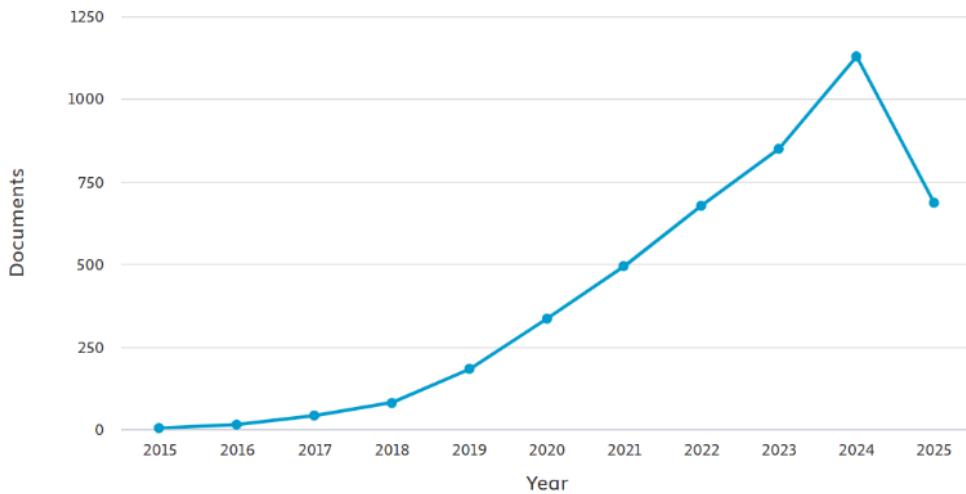
O ápice da produção acadêmica foi alcançado em 2024, com mais de 1.100 documentos publicados, representando o ponto mais alto da série histórica. Esse pico pode estar relacionado à intensificação das pesquisas pós-pandemia, ao fortalecimento das políticas de digitalização em diversos países e ao avanço das tecnologias associadas à Quarta Revolução Industrial.

Já em 2025, até o momento da coleta dos dados, foi observado um decréscimo no número de publicações. Essa redução, no entanto, não necessariamente indica uma queda real na produção científica, mas sim pode ser explicada pela limitação temporal do ano corrente, dado que muitos artigos ainda estão em processo de indexação nas bases de dados.

A curva de crescimento apresentada ao longo dos anos demonstra não apenas a consolidação do tema como campo de pesquisa prioritário, mas também o seu caráter dinâmico e em constante atualização. A Indústria 4.0, ao integrar tecnologias emergentes como Internet das Coisas, inteligência artificial e sistemas ciberfísicos, continua gerando novas possibilidades de estudo, exigindo abordagens cada vez mais interdisciplinares e inovadoras.

Esse padrão de crescimento acompanha as diretrizes da meta 9.5 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que propõe o aumento significativo da pesquisa científica e o fortalecimento das capacidades tecnológicas dos setores industriais. Assim, a evolução temporal do interesse acadêmico evidencia que o campo continua em expansão, com perspectivas promissoras para os próximos anos.

Documents by year



**Gráfico 2:** Número de publicações por ano a partir do documento importado.

**Fonte:** Scopus (2025)

#### 4.3 DIVISÃO DE DOCUMENTOS POR ÁREA DE ESTUDO

A análise da distribuição dos documentos por área temática revela o caráter interdisciplinar da produção científica relacionada à Indústria 4.0, à manufatura avançada e à inteligência artificial. Conforme representado no gráfico, a maior concentração de publicações encontra-se na área da Engenharia, que responde por 39,3% dos documentos analisados. Essa predominância é coerente com a natureza técnica do tema, dado que grande parte das inovações ocorre no âmbito de processos industriais, automação, robótica e sistemas produtivos.

Em segundo lugar, destaca-se a área de Ciência da Computação, com 24,6% das publicações. Isso reflete a importância crescente de temas como algoritmos, aprendizado de máquina, sistemas inteligentes, redes neurais e computação em nuvem, todos fortemente associados ao desenvolvimento da Indústria 4.0.

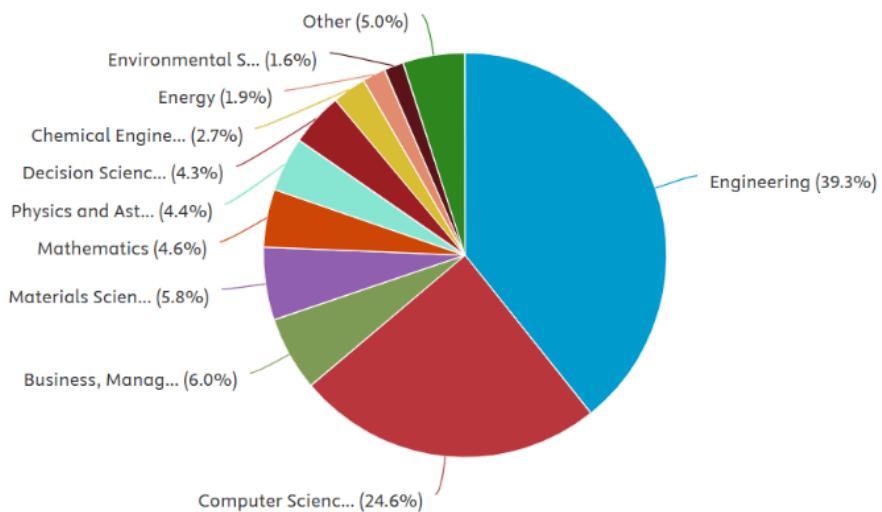
As áreas de Administração e Negócios (6,0%) e Ciência dos Materiais (5,8%) também apresentam participação relevante, evidenciando a necessidade de integrar aspectos de gestão, inovação organizacional e desenvolvimento de novos materiais aos avanços tecnológicos. A presença significativa de Matemática (4,6%) e de Física (4,4%) aponta para o envolvimento de fundamentos teóricos e modelagens computacionais no aprimoramento dos sistemas produtivos e simulações industriais.

Outras áreas como Ciências da Decisão, Engenharia Química, Energia, Ciências Ambientais e Astronomia e Astrofísica, embora com participação percentual menor, indicam que o tema está sendo explorado sob diferentes perspectivas, inclusive no que tange à sustentabilidade e à eficiência energética, aspectos que dialogam diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Esses dados reforçam o entendimento de que o avanço da Indústria 4.0 não depende apenas de competências técnicas específicas, mas sim de uma abordagem integrada entre

engenharia, ciência da computação, gestão e sustentabilidade. Esse cenário exige uma articulação interdisciplinar entre universidades, centros de pesquisa e setores produtivos, criando um ambiente fértil para a inovação e o desenvolvimento tecnológico sustentável.

Documents by subject area



**Gráfico 3:** Áreas de pesquisa a partir do documento importado.

**Fonte:** Scopus (2025)

#### 4.4 DIVISÃO DE DOCUMENTOS POR UNIVERSIDADE

A análise das instituições com maior número de publicações relacionadas à Indústria 4.0, manufatura avançada e inteligência artificial revela a predominância de centros de excelência localizados na Ásia e na Europa. O gráfico mostra que o Ministério da Educação da República Popular da China lidera o ranking de afiliações, com quase 85 documentos indexados, refletindo a forte articulação entre governo e universidades chinesas na promoção da pesquisa científica e tecnológica.

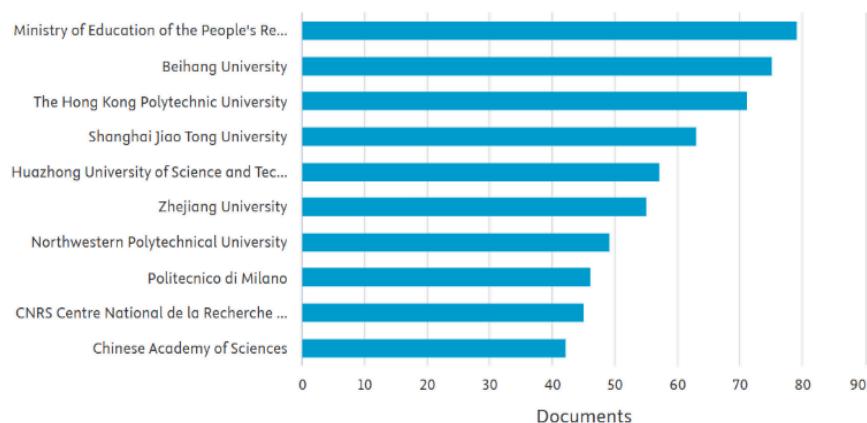
Na sequência, destacam-se *Beihang University* e *The Hong Kong Polytechnic University*, com números igualmente expressivos, indicando o protagonismo das universidades chinesas nas discussões e inovações voltadas à transformação digital da indústria. *Shanghai Jiao Tong University*, *Huazhong University of Science and Technology* e *Zhejiang University* também figuram entre as mais produtivas, reforçando o papel da China como um dos principais polos mundiais em pesquisa aplicada à indústria 4.0.

Ainda entre as dez primeiras colocações, é notável a presença do *Politecnico di Milano*, da Itália, e do CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*), da França, que representam instituições europeias de referência no desenvolvimento de tecnologias industriais avançadas e na articulação entre academia e setor produtivo. Essas universidades contribuem significativamente para os debates científicos que integram computação, engenharia, sustentabilidade e inovação.

Por fim, observa-se também a atuação da *Chinese Academy of Sciences*, um dos mais importantes institutos de pesquisa multidisciplinar do mundo, com forte atuação na interface entre ciência básica e aplicações industriais de alta complexidade.

O domínio das instituições asiáticas, em especial chinesas, neste *ranking*, evidencia não apenas a quantidade de produção científica, mas também a priorização estratégica do tema por parte desses países. A articulação entre universidades, agências governamentais e setor produtivo tem se mostrado essencial para impulsionar a pesquisa e consolidar a liderança tecnológica no cenário global, especialmente no que se refere às metas de inovação sustentável propostas pela Agenda 2030 da ONU.

Documents by affiliation  
Compare the document counts for up to 15 affiliations.



**Gráfico 4:** Publicações por instituição a partir do documento importado.

**Fonte:** Scopus (2025)

## 5. CONCLUSÃO

A presente investigação, por meio de uma análise bibliométrica das publicações científicas sobre Indústria 4.0, manufatura avançada e inteligência artificial, permitiu evidenciar o crescimento expressivo e a consolidação dessas temáticas como áreas estratégicas no cenário acadêmico internacional. Os resultados obtidos confirmam o caráter interdisciplinar e dinâmico do campo, com predominância das áreas de Engenharia e Ciência da Computação, além da crescente articulação com setores como Administração, Ciência dos Materiais e Ciências Ambientais.

Observou-se que a produção científica está fortemente concentrada em instituições asiáticas, notadamente chinesas, cuja atuação destaca-se tanto pelo volume quanto pela densidade das redes de colaboração. A análise das coautorias e das palavras-chave reforça a existência de núcleos consolidados de excelência científica, cujas contribuições têm impulsionado significativamente a transformação digital dos sistemas produtivos.

Nesse sentido, os achados deste estudo dialogam diretamente com a meta 9.5 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), ao evidenciarem como o avanço da pesquisa científica e o fortalecimento das capacidades tecnológicas estão intrinsecamente associados à promoção de uma indústria mais inovadora, eficiente e sustentável.

Ademais, a utilização da bibliometria demonstrou-se eficaz para mapear as principais tendências, atores e lacunas da produção acadêmica, fornecendo subsídios relevantes para o desenvolvimento de políticas públicas, estratégias institucionais de internacionalização e fomento à pesquisa em países em desenvolvimento. Recomenda-se, para estudos futuros, a ampliação do escopo analítico por meio de abordagens qualitativas que investiguem o impacto das produções identificadas, bem como a inclusão de outros idiomas e bases de dados que possam enriquecer a compreensão sobre o tema.

## 6. REFERÊNCIAS

- DONTHU, N. et al.**, (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296.
- DURIEX,V., GENEVOIS, P. A.** (2010). Bibliometric indicators: quality measurements of scientific publication. *Radiology*, 255(2), 342–351.
- KAGERMANN, H. et al.** Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group. *Forschungsunion*, 2013.
- KUSIAK, A.** Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 508–517, 2018.
- LU, Y.** Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of industrial information integration*, v. 6, p. 1-10, 2017.
- PRITCHARD, A.** Statistical bibliography or bibliometrics. *Journal of documentation*, v. 25, p. 348, 1969.
- RÜBMANN, M. et al.** Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston consulting group, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.
- SANTOS, R. F. et al.** Indústria 4.0: oportunidades e desafios para o Brasil. *Revista Gestão & Tecnologia*, 19(2), 19–39, 2019.
- SCHWAB, K.** The Fourth Industrial Revolution. *World Economic Forum*, 2016.
- SILVA, A. M. R.; GRÁCIO, M. C. C.** *Bibliometria como instrumento de avaliação da produção científica da área de ciência da informação no Brasil*. Em *Questão*, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11–32, jan./jun. 2006.