

Uma classificação dos robôs industriais a partir da literatura em 2024

ANA JULIA DAL FORNO
JÚLIO CESAR MATZENBACHER DE LIMA
RAFAEL TEZZA

Resumo

Este artigo teve como objetivo classificar os robôs presentes no ambiente industrial, identificar suas aplicações e mapear as principais tendências emergentes na área. Para isso, utilizou-se a metodologia de revisão sistemática da literatura, analisando 54 publicações de 2024. Os robôs industriais foram classificados em dez categorias: colaborativos (*cobots*), móveis, de inspeção e monitoramento, de manipulação, agrícolas, drones, de serviço, autônomos e de holoportação. As tendências identificadas incluem o aumento da utilização de *cobots* em ambientes colaborativos com humanos, a convergência de tecnologias como Inteligência Artificial e Internet das Coisas para automação flexível, a adoção de manutenção preditiva com apoio de Inteligência Artificial, o desenvolvimento de robôs menores e mais precisos, e o uso crescente de sensores avançados e visão computacional. Os resultados mostram que a China lidera na produção e desenvolvimento em robótica, com 52% dos robôs industriais instalados no mundo, seguida pelos Estados Unidos da América e Alemanha no volume de pesquisa acadêmica. Os achados reforçam a importância de estratégias de adoção tecnológica, especialmente em países com baixa inserção no setor, como o Brasil, que enfrenta desafios significativos para sua integração no cenário global da robótica.

Palavras-chave: indústria 4.0; robótica; tecnologias emergentes; revisão de literatura.

A classification of industrial robots from the literature in 2024

Abstract

This article aimed to classify the robots used in industrial environments, identify their applications, and map the main emerging trends in the field. A systematic literature review methodology was applied, analyzing 54 publications from 2024. Industrial robots were classified into ten categories: collaborative robots (cobots), mobile, inspection and monitoring, manipulation, agricultural, drones, service, autonomous, and holoportation. The trends identified include the increasing use of cobots in collaborative work with humans, the convergence of technologies such as artificial intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) for flexible automation, the adoption of AI-driven predictive maintenance, the development of smaller and more precise robots for delicate applications, and the growing use of advanced sensors and computer vision. The results show that China leads global robotics production and development, with 52% of the world's industrial robots installed, followed by the United States and Germany in academic research volume. These findings highlight the need for strategic approaches to technology adoption, particularly in countries with low representation in the sector, such as Brazil, which faces major challenges in integrating into the global robotics scenario.

Keywords: industry 4.0; robotics; emerging technologies; literature review.

1 INTRODUÇÃO

A indústria 4.0 representa uma nova era de automação e integração de tecnologias, na qual a robótica desempenha um papel essencial. Estudos apontam que a definição clara e precisa dos tipos de robôs e das tecnologias que os acompanham é essencial para a melhoria dos processos produtivos. Segundo (Carayannis, Canestrino e Magliocca, 2024) a indústria 4.0 transformou o setor industrial, apoiado pelas tecnologias como inteligência artificial (IA),

internet das coisas (IoT), robôs autônomos, computação na nuvem, *big data*, *blockchain*¹, dentre outras.

O desenvolvimento da robótica reflete a busca humana por automação e eficácia na produção, desde a antiguidade, dentre elas a invenção da pomba mecânica de Arquitas que datam do século IV a.C., que provavelmente era propulsionado por um jato de vapor e teria voado cerca de 200 metros (Belhoste; Correia, 2011). No século XIII, engenheiros como Al-Jazari construíram dispositivos avançados, embora essas criações mecânicas não se aproximassem dos robôs modernos (Gonçalves; Moura, 2023).

No entanto, o conceito de “robô” ganhou destaque no início do século XX, com a peça R.U.R. de Karel Čapek, e, logo depois, na década de 1950, o primeiro robô industrial, o Unimate, foi introduzido nas fábricas, marcando o início da robótica moderna (Weiss *et al.*, 2016). Na década de 1980, os avanços em microprocessadores e inteligência artificial permitiram o surgimento de robôs mais sofisticados e autônomos, como o ASIMO da empresa japonesa Honda (Honda, 2021). Nesse contexto, a robótica industrial pode ser definida como um conjunto de ferramentas ou dispositivos automáticos utilizados para auxiliar ou executar tarefas normalmente atribuídas aos humanos (Hägele *et al.*, 2016).

No século XXI, a robótica expandiu-se para diversos setores, como a saúde, exploração espacial e serviços domésticos, além do crescimento dos robôs colaborativos (*cobots*) e o uso crescente de inteligência artificial (Khosravy *et al.*, 2024). Esses avanços têm potencial para transformar ainda mais a sociedade, trazendo à tona novos desafios e oportunidades em áreas como segurança, emprego e ética.

Diversos artigos recentes abordam os robôs como peças-chave nesse ecossistema, com autores discutindo a integração de sistemas robóticos com tecnologias como a Inteligência Artificial, Internet das Coisas, *blockchain*, e outras inovações. Assim, esse artigo teve como objetivo identificar as tendências de aplicações dos robôs e sua relação com as demais tecnologias da indústria 4.0, além de classificá-los de acordo com as suas aplicações e setores industriais.

Assim, este estudo se justifica pela necessidade de compreender mais profundamente a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 no contexto brasileiro, com foco especial na robótica. Embora o uso da robótica esteja em expansão no cenário internacional, o Brasil ainda não ocupa posição de destaque, estando ausente dos principais *rankings* globais de adoção (Bill *et al.*, 2024). Esse cenário evidencia a importância de investigar os desafios específicos enfrentados no país e de propor estratégias que favoreçam sua integração ao ecossistema tecnológico global, especialmente no que se refere à combinação entre robôs e outras tecnologias emergentes.

Para isso, a estrutura desse trabalho deu-se com a Introdução, seguidos da Seção 2 que descreve as etapas da metodologia de revisão sistemática da literatura. Na Seção 3 há os resultados teóricos que foram desenvolvidos a partir da análise dos 54 artigos analisados. Nessa Seção são descritos o cenário da robótica no mundo, tal como os países que dominam a produção, as atividades realizadas pelos robôs e as classificações propostas – *cobot*, industriais, móveis, de inspeção e monitoramento, manipulação, agrícolas, drones, serviço, autônomo e holopotação. A Seção 4 finaliza com as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2 METODOLOGIA

A pesquisa iniciou com a revisão sistemática da literatura, na qual foi utilizada a base de dados *IEEE Xplorer*. As combinações das palavras-chaves foram “*robot*” AND “*industry 4.0*”. Após o filtro de 2024, foram encontrados 296 documentos, que foram filtrados por

¹ *Big data* refere-se a grande volume e variedade de dados, geralmente não estruturados que auxiliam na tomada de decisão. *Blockchain* é uma tecnologia de registro distribuído e imutável, que organiza dados em blocos interligados, formando uma cadeia de blocos.

completos e de periódicos, restando 94. Destes 54 artigos foram analisados após a leitura e seleção de aderência conforme título e resumo. Além dos artigos, também foram analisados relatórios do setor e dados de patentes. As perguntas a serem respondidas foram:

- a) Quais são os principais trabalhos, pesquisadores e países que publicaram sobre a temática de robôs industriais em 2024?
- b) Quais os tipos de robôs e suas aplicações?
- c) Quais as principais tendências e desafios para a implementação dessa tecnologia?

3 RESULTADOS

Essa seção descreve as respostas das perguntas de pesquisa tais como o mapeamento dos pesquisadores da área, país e objetivo das publicações. Também são mostradas as dez classificações de robôs e as principais tendências e desafios para a área.

3.1 Mapeamento das pesquisas sobre robôs industriais

A robótica surgiu nos Estados Unidos, mas agora tanto em volume de robôs quanto em produção, a China lidera o mundo. Em 2022, 52% por cento de todos os robôs industriais do mundo foram instalados na China, sendo que na década anterior esse valor era de 14%. O fato de a indústria automotiva chinesa ser também a maior do mundo impacta nesse valor, visto que essa indústria é uma grande compradora de robôs para as fábricas (Atkinson, 2024; IFR, 2025).

Uma análise sobre a trajetória de desenvolvimento da robótica industrial na China revela uma dinâmica semelhante à evolução do setor de telefonia móvel no país. Inicialmente, as empresas chinesas ofereciam alternativas de qualidade ligeiramente inferior, mas a custos significativamente mais baixos. Com o tempo, no entanto, essas mesmas empresas acumularam *expertise* e recursos suficientes para realizar avanços tecnológicos importantes, tornando-se competitivas em nível internacional (Atkinson, 2024; IFR, 2025).

Um estudo realizado por (Atkinson, 2024) avaliou três empresas chinesas fabricantes de robôs: *Ecovacs Robotics*, *Beijing Roborock*, *Estun Automatic* e *Saisun*. A pesquisa envolveu entrevistas com representantes dessas companhias, bem como a análise de publicações acadêmicas e registros de patentes. Os resultados confirmaram a capacidade crescente da China em produzir robôs de alta qualidade. Em termos de patentes, por exemplo, a China lidera com 35% do mercado global, superando os 13% dos Estados Unidos.

Esses avanços refletem o papel estratégico da robótica na indústria 4.0 e demonstram como a integração de tecnologias avançadas é fundamental para o desenvolvimento econômico e industrial das nações. A indústria 4.0, caracterizada pela fusão de tecnologias digitais, físicas e biológicas, está transformando o modo como produtos são projetados, fabricados e entregues. Nesse contexto, a robótica desempenha um papel crucial, não apenas na automação industrial, mas também na criação de soluções inovadoras para diversos setores (Atkinson, 2024, IFR, 2025).

Referente à produção de robôs industriais, quando considerado por 10 mil trabalhadores da indústria em 2023, a Coreia do Sul continuou liderando globalmente, com 932 robôs por 10 mil trabalhadores. A China também apresentou um crescimento significativo, com 470 robôs por 10 mil trabalhadores, ultrapassando Alemanha e Japão (IFR, 2025). O Brasil possui apenas nove robôs nesse índice, ficando nas últimas colocações, sendo que a média mundial é de 126 robôs industriais por dez mil funcionários. Quanto à origem dos pesquisadores dos artigos, 17 publicações são da China, seguida pela Itália (8), Estados Unidos (6), Canadá (4), Alemanha (4), França (3), Espanha (3), Hong Kong (2), Japão (2), Bélgica (2), Suécia (1), Dinamarca (1), Singapura (1) e Coreia do Sul (1). Esses dados revelam uma forte correlação entre o volume de

pesquisas científicas e a liderança tecnológica de determinadas nações. Países com expressiva presença industrial em setores de alta tecnologia, como a China, Estados Unidos, Alemanha e Japão, também se destacam na produção de conhecimento científico sobre robótica. Essa dinâmica reflete a importância da sinergia entre pesquisa e desenvolvimento industrial, sendo possível perceber uma coerência entre as pesquisas acadêmicas sobre o uso da robótica e o desenvolvimento industrial em cada país. Na sequência, o Quadro 1 descreve o objetivo de cada artigo analisado e suas citações retiradas do *Google Scholar*.

Quadro 1 – Objetivo de cada artigo analisado

Referência	País	Objetivo	Citações Google
(Ahmad <i>et al.</i> , 2024)	Finlândia, Índia	Fornecer uma visão abrangente sobre a segurança das comunicações na chamada "Indústria X", que combina os paradigmas da Indústria 4.0 e 5.0. O artigo discute as principais tecnologias envolvidas, como sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas industriais (IIoT), aprendizado de máquina (ML), computação em nuvem e <i>blockchain</i> .	12
(Aizat, Qistina e Rahiman, 2024)	Malásia	Discutir os avanços e desafios das tecnologias recentes de Veículos Autônomo Guiado (AGV), para destacar as suas melhorias na eficiência e segurança, além de explorar as soluções para superar obstáculos em ambientes industriais complexos.	12
(Alexander, Chau e Saldana, 2024)	Estados Unidos	Mostrar o impacto da IA na manufatura do ponto de vista dos usuários, com base em artigos revisados.	10
(Ali <i>et al.</i> , 2024)	Reino Unido	Analisar como o ruído térmico do receptor e o <i>jitter</i> RMS do <i>Phase-Locked Loop</i> (PLL) afetam a precisão das medições de radar em sistemas FMCW e SFCW. O estudo busca quantificar o impacto desses fatores e oferecer recomendações práticas para mitigar seus efeitos adversos, derivando fórmulas que relacionam o desempenho do radar com características do hardware. Reduzir o <i>jitter</i> RMS ajuda a melhorar o desempenho e a precisão dos sistemas de controle e sensores dos robôs.	2
(Balasubramanian <i>et al.</i> , 2024)	Reino Unido, Emirados Árabes Unidos	Propor um modelo de sustentabilidade abrangente para a Construção 4.0, que identifica e categoriza as principais tecnologias dessa nova abordagem, incluindo suas implicações positivas e negativas em relação às dimensões de sustentabilidade ambiental, econômica e social. Além disso, o estudo busca testar a aplicabilidade desse modelo em um estudo de caso no setor da construção dos Emirados Árabes Unidos. Também aborda automação, manufatura avançada e robótica como meios para inovar ainda mais esse setor.	102
(Behnke e Austad, 2024)	Noruega	Revisar o desempenho em tempo real das tecnologias de comunicação da IIoT e discutir como essas tecnologias podem ser aplicadas para atender às demandas crescentes de conectividade e eficiência nas indústrias, além de abordar os desafios e requisitos necessários para garantir a segurança, confiabilidade e flexibilidade das redes industriais.	21

(Bellavista <i>et al.</i> , 2024)	Itália	Propor uma métrica concisa e expressiva, “Overall Digital Twin Entanglement (ODTE)”, para representar a qualidade de sincronização entre gêmeos digitais e suas contrapartes físicas.	4
(Boltsi <i>et al.</i> , 2024)	Grécia	Proporcionar uma visão abrangente sobre as ferramentas digitais, tecnologias e metodologias de aprendizagem para apoiar a Educação 4.0, com foco em práticas pedagógicas multidisciplinares.	13
(Bouzarkouna <i>et al.</i> , 2024)	França	Propor um modelo de programação linear inteiro para otimizar a implantação de uma solução baseada em computação em nuvem em fábricas inteligentes, aspirando a garantia de cobertura completa da área de trabalho, boa qualidade de serviço e minimização de custos, principalmente na presença de dispositivos móveis conectados, como robôs.	2
(Cammarano <i>et al.</i> , 2024)	Itália	Apresentar uma metodologia para investigar a adoção de tecnologias-chave na Indústria 4.0 e realizar uma análise exploratória das práticas emergentes possibilitadas por essas tecnologias.	25
(Carayannis, Canestrino e Magliocca, 2024)	Estados Unidos, Itália	Desenvolver um modelo para guiar a transição da indústria 4.0, focada em tecnologia, para a sociedade 5.0, que é centrada nas pessoas.	40
(Cetindamar <i>et al.</i> , 2024)	Austrália, Turquia, China, Reino Unido	Compreender a definição e as dimensões da literatura em IA dos funcionários em locais de trabalho digitais e ver na literatura quais são as capacidades dos funcionários frente a essa tecnologia.	132
(Chen, L. <i>et al.</i> , 2024)	China	Explorar as oportunidades de sustentabilidade e os desafios éticos do uso de veículos autônomos conectados (CAVs) em áreas urbanas. Ele discute como estratégias baseadas em IA podem otimizar o tráfego, reduzir atrasos e melhorar a infraestrutura urbana. No entanto, também aborda preocupações como vulnerabilidades cibernéticas e possíveis impactos sociais e econômicos.	21
(Chen, J. <i>et al.</i> , 2024)	China, Canadá	Fornecer uma visão abrangente sobre a arquitetura de rede e as tecnologias chave que suportam o conceito de “Human Digital Twin” (HDT) em aplicações de saúde personalizada. O estudo busca delinear as diferenças entre HDT e os gêmeos digitais convencionais, discutir os requisitos de <i>design</i> , desafios e propor diretrizes úteis para a implementação prática do HDT.	64
(Cheng <i>et al.</i> , 2024)	China	Investigar como a adoção de tecnologia digital, pode ser configurada para melhorar o desempenho de inovação sustentável das empresas chinesas de manufatura de alta tecnologia.	11
(Du <i>et al.</i> , 2024)	China	Resolver o problema de escalonamento de oficina flexível com transporte de guindaste e tempos de configuração (FJSP-CS), utilizando um modelo baseado em <i>Deep Q-Network</i> (DQN) para otimizar simultaneamente o tempo de conclusão das tarefas (<i>makespan</i>) e o consumo total de energia.	89

(Fahrmann <i>et al.</i> , 2024)	Alemanha e Espanha	Apresentar as tecnologias atuais para detecção de anomalias em ambientes inteligentes tais como residências, transportes e indústria.	14
(Farag, Stefanovic e Gidlund, 2024)	Dinamarca	Esse artigo aborda um protocolo distribuído para redes de sensores sem fio assistidas por comunicação Device-to-Device (D2D) em ambientes heterogêneos. Ele foca na otimização da Idade da Informação (AoI) e do atraso em aplicações da IIoT, garantindo que os dados sejam transmitidos de forma eficiente e dentro de restrições de tempo predefinidas. O estudo propõe um protocolo de acesso aleatório baseado no <i>backlog</i> da rede, permitindo que nós sensíveis à AoI acessem o canal de forma oportunista, dependendo da ocupação da fila dos nós sensíveis ao atraso. Além disso, desenvolve um modelo analítico para avaliar o desempenho e apresenta soluções numéricas para minimizar a AoI sem comprometer os limites de atraso.	5
(Figlie <i>et al.</i> , 2024)	Polônia, Grécia, Itália, Espanha, Estados Unidos	Esse artigo tem como objetivo ajudar os acadêmicos a identificarem possíveis áreas de aplicação para as suas soluções tecnológicas emergentes, introduzindo uma taxonomia abrangente desenvolvida através de um processo transparente e interativo, apresentada através de um sistema centrado no usuário da plataforma <i>web</i> .	7
(Gu <i>et al.</i> , 2024)	China	O objetivo do artigo é realizar uma pesquisa abrangente sobre redes colaborativas aprimoradas por IA entre nuvem, borda e terminal, discutir suas aplicações e explorar direções futuras.	23
(Hafi <i>et al.</i> , 2024)	Argélia, Grécia, França	Investigar como o aprendizado federado dividido (SFL - <i>Split Federated Learning</i>) pode ser efetivamente implementado em redes de sexta geração (6G). O artigo busca analisar os aspectos técnicos e casos de uso do 6G, explorando como o SFL pode melhorar as funcionalidades e o desempenho em diferentes áreas, como gerenciamento de recursos e computação na borda. Além disso, identifica os principais desafios e requisitos associados à implementação do SFL em redes 6G, propondo soluções potenciais para esses desafios.	35
(Hu <i>et al.</i> , 2024)	China	O artigo aborda a importância das tecnologias <i>sim2real</i> , <i>digital twins</i> e <i>parallel intelligence</i> na redução da lacuna entre a simulação virtual e o mundo real no contexto de veículos autônomos. Também discute preocupações como vulnerabilidades cibernéticas e impactos sociais e econômicos.	61
(Ietto <i>et al.</i> , 2024)	Grécia	Investigar o papel dos Centros de Competência (CCs) na adoção da indústria 4.0 por pequenas e médias empresas, com foco em uma abordagem mais centrada no ser humano. Ele destaca como esses centros podem ajudar as empresas a equilibrar inovação tecnológica com valores humanos, promovendo colaboração entre humanos e robôs e considerando implicações sociais e éticas.	38
(Jin <i>et al.</i> , 2024)	Austrália, Suécia, China.	Propor a visão da automação colaborativa " <i>Cloud-Fog Automation</i> " para revolucionar os sistemas de automação industrial, migrando tarefas computacionais e de automação para mais perto do solo.	33

(Joshi <i>et al.</i> , 2024)	Índia, Malásia, Arábia Saudita	Estudar os desafios e oportunidades relacionados à integração da tecnologia digital na sala de aula moderna, principalmente através da estrutura da sala de aula 4.0 e educação 4.0. O estudo explora o compromisso dos governos democráticos de bem-estar em fornecer uma educação equitativa e de alta qualidade, garantindo uma educação abrangente e ao longo da vida. A pesquisa utiliza análise fatorial confirmatória para analisar correlações na Sala de Aula 4.0, examinando a influência da tecnologia metaverso em variáveis e as perspectivas dos alunos sobre o engajamento em plataformas digitais.	14
(Kaigom, 2024)	Alemanha	Explorar e delinear as tecnologias e oportunidades associadas ao conceito de metarobótica, que visa melhorar a colaboração entre humanos e robôs, especialmente em contextos industriais e sociais. O artigo discute como a metarobótica pode ser integrada com tecnologias emergentes, como redes 6G, gêmeos digitais (<i>digital twins</i>) e holoportação, para criar um ambiente de trabalho mais flexível e centrado no ser humano, promovendo a eficiência operacional e o bem-estar dos trabalhadores. Além disso, o artigo aborda a importância de uma transformação digital que atenda às expectativas da nova geração de trabalhadores, como a geração Z, e como isso se relaciona com as visões da indústria 5.0.	5
(Kamdjou <i>et al.</i> , 2024)	França, Canadá	Explorar a operação de Realidade Estendida (XR) com gêmeos digitais no contexto da IIoT. Ele investiga técnicas de otimização para ambientes de Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR) que enfrentam restrições de recursos, focando em qualidade de serviço, qualidade de experiência e arquiteturas edge-cloud. Além disso, analisa soluções emergentes como compressão de dados, <i>blockchain</i> , computação em nuvem, computação quântica, IA e segurança cibernética.	20
(Khosravy <i>et al.</i> , 2024)	Índia, Bélgica, Espanha, Japão	Propor uma estrutura dinâmica distribuído para alocação de tarefas colaborativas em sistemas multi-robôs heterogêneos. Ele aborda como diferentes robôs, com capacidades variadas, podem trabalhar juntos de forma eficiente, combinando funcionalidades para realizar tarefas complexas que seriam difíceis para um único robô.	9
(Kiyokawa, Takamatsu e Koyanaka, 2024)	Japão	Abordar os desafios na automação da triagem de resíduos industriais mistos usando robôs. O estudo identifica e discute as dificuldades e tecnologias potenciais para criar um sistema de triagem robótica eficiente, abrangendo componentes como manipuladores, sensores e planejadores.	32
(Kroep <i>et al.</i> , 2024)	Holanda	Esse artigo investiga a medição eficaz da internet tátil que permite a manipulação remota de ambientes com <i>feedback</i> háptico. Ele propõe o método <i>Effective Time-and Value-Offset</i> (ETVO) para avaliar o desempenho de sistemas de internet tátil, aprimorando métricas existentes como <i>Dynamic Time Warping</i> (DTW). O estudo inclui análises objetivas e experimentos com	6

		usuários para demonstrar como ETVO melhora a precisão na caracterização da qualidade da comunicação da internet tática.	
(Kurunathan <i>et al.</i> , 2024)	Portugal, Hong Kong, Reino Unido, Austrália, Canadá	Apresentar uma visão abrangente sobre o uso de aprendizado de máquina (ML) em operações e comunicações de veículos aéreos não tripulados (UAVs). Ele explora como técnicas de ML podem aprimorar quatro aspectos fundamentais dos UAVs: percepção e extração de características, interpretação e regeneração de características, planejamento de trajetória e missão, e controle aerodinâmico e operacional. Além disso, o estudo identifica desafios e lacunas na aplicação de ML para UAVs, destacando a necessidade de maior confiabilidade e integração entre módulos para alcançar uma automação completa.	83
(Latino, Menegoli e Corallo, 2024)	Itália	Investigar o impacto da indústria 4.0 na agricultura por meio de uma análise bibliométrica global. Ele examina tendências de pesquisa, desafios e oportunidades na adoção de tecnologias digitais no setor agrícola. O estudo também explora como a digitalização pode ajudar a enfrentar desafios como mudanças climáticas, segurança alimentar e escassez de mão de obra.	32
(Li <i>et al.</i> , 2024)	China	Pesquisar as tendências de desenvolvimento e a competição tecnológica no campo do digital twin por meio de análise bibliométrica e análise de patentes para examinar o estado atual da pesquisa acadêmica e do desenvolvimento tecnológico, identificando padrões de evolução e os principais países e instituições envolvidos. O estudo revelou que o <i>digital twin</i> está em uma fase de crescimento acelerado, se tornando temas-chave na pesquisa e no desenvolvimento tecnológico.	15
(Lim <i>et al.</i> , 2024)	Singapura, Malásia, Arábia Saudita, China, Emirados Árabes Unidos	Avaliar o monitoramento em tempo real do crescimento da microalga <i>Spirulina</i> , utilizando tecnologias de Internet das Coisas (IoT) e microalgas. A pesquisa visa integrar sensores de concentração de biomassa com IoT para monitorar a concentração de biomassa da <i>Spirulina</i> em tempo real e remotamente por meio de um sistema baseado em nuvem. Além disso, o estudo monitora parâmetros adicionais, como temperatura, intensidade de luz e nível de água, para obter uma compreensão abrangente do processo de cultivo.	10
(Liu <i>et al.</i> , 2024)	Finlândia, China	Comparar o desempenho entre os padrões UWB IEEE 802.15.4z e IEEE 802.15.4 em três aspectos principais: ranging (medida de distância), eficiência energética e posicionamento. Esses padrões são especificações para redes sem fio de baixa taxa de transmissão, com foco em comunicação eficiente e precisa.	3
(Lu <i>et al.</i> , 2024)	China	Pesquisas como a inteligência artificial generativa, exemplificada pelo ChatGPT, pode aprimorar as metodologias de ensino utilizadas por professores em formação. O estudo busca analisar o impacto do uso do ChatGPT no treinamento de habilidades de ensino sobre a autoeficácia e o pensamento de ordem superior dos	20

		futuros educadores. Além disso, o artigo explora as opiniões dos professores em formação sobre a utilização do ChatGPT como ferramenta de apoio no processo de ensino, comparando os efeitos desse método com os métodos tradicionais de treinamento.	
(Lumpp <i>et al.</i> , 2024)	Itália, Canadá	O artigo apresenta um método baseado em hipergrafos para planejamento de tarefas e movimentos em sistemas multi-robôs. Ele propõe o modelo <i>Decomposable State-Space Hypergraph</i> (DaSH), que permite integrar abordagens compostas e desacopladas de planejamento multi-robô, além de viabilizar novos métodos híbridos.	9
(Lv <i>et al.</i> , 2024)	China, Hong Kong	Propor uma abordagem de geração de grafos de cena multimodal (MM-SGG) para representar de forma robusta as relações visuais em cenários de montagem colaborativa entre humanos e robôs. A pesquisa busca preencher lacunas existentes ao abordar não apenas as entidades físicas, como a detecção de objetos e estimativa de pose, mas também as relações interativas entre essas entidades, o que é crucial para a tomada de decisões em tarefas de montagem complexas.	2
(Park <i>et al.</i> , 2024)	Coreia do Sul	Propor um novo método para a melhoria do desempenho de controle de manipuladores robóticos degradados, utilizando gêmeos digitais e <i>Proximal Policy Optimization</i> (PPO), uma técnica de aprendizado por reforço. A pesquisa aborda três estratégias principais – modelagem do robô degradado, treinamento com aprendizado profundo e implementação prática. Os resultados demonstraram que essa abordagem pode ser aplicada a diversos tipos de robôs articulados, oferecendo uma solução promissora para manter o desempenho sem custos elevados de manutenção.	3
(Rayhana <i>et al.</i> , 2024)	China, Bangladesh	Explorar o conceito de gêmeos digitais e suas aplicações na indústria. Ele analisa os desafios e benefícios dessa tecnologia, destacando como os gêmeos digitais podem melhorar a eficiência operacional, prever falhas e otimizar processos em diversos setores, como manufatura, saúde e infraestrutura.	8
(Real e Torres, 2024)	México, Colômbia	Estudar e entender os fatores que influenciam nos erros de montagem, e os efeitos que a mudança na sequência dos processos pode ter sobre eles. Propor um modelo para minimizar <i>handovers</i> em sistemas de comunicação por luz visível. Ele utiliza um algoritmo genético modificado combinado com classificadores de aprendizado de máquina para reduzir interrupções na conexão durante a troca de pontos de acesso. <i>Handovers</i> são processos de troca de conexão entre pontos de acesso em redes sem fio, garantindo que um dispositivo permaneça conectado sem interrupções.	3
(Salva-Garcia <i>et al.</i> , 2024)	Escócia, Estados Unidos	Explorar uma arquitetura baseada em eBPF-XDP para fatiamento de rede em futuras redes 6G, investigando como essa abordagem pode melhorar a produtividade, desempenho e eficiência das redes móveis, especialmente em um cenário de virtualização de rede e alta confiabilidade. O estudo destaca a importância do fatiamento de rede para atender aos Acordos de Nível de	0

		Serviço e indicadores-chave de desempenho (KPIs), garantindo que serviços críticos operem sem interferências.	
(Sharma, Tomar e Hazra, 2024)	Índia	Explorar a importância da computação de borda (<i>edge computing</i>) na indústria 5.0, destacando como essa tecnologia pode facilitar a análise e processamento de dados em tempo real no setor de manufatura.	52
(Tallat <i>et al.</i> , 2024)	Reino Unido, China	O objetivo do artigo é explorar a evolução dos paradigmas da indústria com foco na Indústria 5.0, destacando as principais tecnologias, desafios e oportunidades relacionados a Indústria 5.0.	45
(Tika e Bajcinca, 2024)	Alemanha	Propor um algoritmo de controle preditivo de modelo para planejamento de trajetória em tempo real para robôs cooperativos. Ele aborda os desafios de evitar colisões entre braços robóticos que compartilham um espaço operacional confinado, utilizando uma aproximação geométrica suave por curvas de Bézier e restrições de velocidade. O método foi validado experimentalmente com dois braços robóticos colaborativos realizando tarefas de <i>pick-and-place</i> de forma sincronizada.	6
(Tripicchio <i>et al.</i> , 2024)	Itália	Esse artigo tem como objetivo tratar da localização de etiquetas passivas de RFID de alta frequência em ambientes industriais, empregando antenas receptoras montadas num robô móvel e utilizando técnicas de multilateração.	0
(Herbruggen, Van <i>et al.</i> , 2024)	Bélgica	Explorar a eficácia de diferentes algoritmos de localização UWB (<i>Ultra-Wideband</i>) em ambientes onde o GPS não é viável. Ele apresenta uma plataforma de <i>benchmark</i> para avaliar 11 algoritmos de precisão, analisando métricas como erro médio, latência e erro espacial. O estudo destaca que combinar múltiplos algoritmos nem sempre melhora a precisão e pode até prejudicar o desempenho geral.	5
(Verma e Singh, 2024)	Índia	Investigar como os funcionários percebem e se adaptam ao trabalho em ambientes híbridos que envolvem inteligência artificial e <i>cobots</i> . Ele analisa fatores positivos e negativos que influenciam a intenção dos trabalhadores de interagir com <i>cobots</i> , além de explorar o impacto da criatividade individual nesse contexto. O estudo utiliza um modelo baseado na teoria valencial e na teoria da criatividade para avaliar a relação entre humanos e robôs no ambiente de trabalho.	12
(Viceconti <i>et al.</i> , 2024)	Itália, Alemanha, Holanda, Reino Unido, Estados Unidos.	Propor o conceito de <i>Virtual Human Twin</i> que visa criar uma representação digital abrangente da fisiopatologia humana. A ideia é desenvolver uma infraestrutura colaborativa que permita a integração de múltiplos modelos e dados para aprimorar a pesquisa em saúde digital, suporte à decisão clínica e previsões personalizadas para pacientes.	28
(Victor <i>et al.</i> , 2024)	Estados Unidos, Brasil, Europa, Ásia	Analisar como as tecnologias de sensoriamento remoto podem transformar a agricultura na era da indústria 5.0. Ele analisa diferentes métodos de sensoriamento, como imagens térmicas, radar, LiDAR (<i>Light Detection and Ranging</i>) e drones, destacando desafios como cobertura limitada, baixa qualidade de dados e interferências	21

		climáticas. Além disso, discute aplicações práticas e futuras direções para integrar essas tecnologias ao setor agrícola.	
(Walia, Kumar e Gill, 2024)	India	Identificar como a inteligência artificial pode otimizar a gestão de recursos em computação de borda e neblina (<i>fog/edge computing</i>) para aplicações de IoT. Ele analisa desafios como alocação de recursos, balanceamento de carga e escalabilidade, além de discutir soluções baseadas em aprendizado de máquina para melhorar a eficiência desses sistemas.	90
(Wang <i>et al.</i> , 2024)	China	O objetivo do artigo é abordar a escassez de pesquisas sobre diagnóstico de falhas em robôs industriais (IRs) e desenvolver um algoritmo inteligente de diagnóstico de falhas para atuadores de juntas em robôs industriais pesados. O estudo visa melhorar a segurança e a confiabilidade dos sistemas de robôs industriais, utilizando técnicas avançadas de diagnóstico para detectar e identificar falhas nos atuadores de forma eficaz.	5
(Xiang <i>et al.</i> , 2024)	China	Explorar as principais tecnologias que impulsionam a indústria 5.0, focando na colaboração entre humanos e máquinas inteligentes para uma produção mais eficiente e personalizada. Ele analisa tendências emergentes, como computação em nuvem, inteligência artificial, robótica colaborativa e <i>digital twins</i> , além de discutir desafios e oportunidades para a manufatura avançada.	131
(Yejiao <i>et al.</i> , 2024)	China, Malásia	Revisar as estratégias de planejamento de redes RFID em fábricas inteligentes, explorando como algoritmos de otimização por inteligência de enxame podem melhorar a cobertura do sinal, reduzir conflitos de comunicação e otimizar o consumo de energia. Ele analisa desafios como equilíbrio de carga e custo operacional, além de discutir inovações e limitações das abordagens atuais.	1

Fonte: Elaborado pelos autores.

Um estudo de (Atkinson, 2024) analisou quatro empresas fabricantes de robôs da China (Ecovacs Robotics, Beijing Roborock, Estun Automatic e Saisun) e realizou entrevistas e mesas-redondas com especialistas internacionais no setor de robótica chinesa. No relatório também há as publicações de artigos e patentes sobre o tema. Esse conjunto de dados foi utilizado para avaliar se de fato o país produz robôs de qualidade. Quanto às patentes, a China lidera com 35% do mercado, comparado com 13% dos Estados Unidos. Assim, é possível comparar alguns dados de inovação relacionados a robôs da China e dos Estados Unidos (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados relacionados aos robôs da China e dos Estados Unidos

Indicadores	China	Estados Unidos
Patentes mundiais	35%	13%
Patentes de universidades	92%	8%
Patentes de empresas	4%	82%
Artigos mais citados	27,9%	24,6%
Produtos inovadores	3	35

Fonte: Adaptado de Atkinson, 2024.

3.2 Classificação dos robôs

Iniciando pelos **cobots**, esses são projetados para trabalhar em conjunto com seres humanos em um ambiente de trabalho compartilhado (Xiang *et al.*, 2024). Os autores (Cetindamar *et al.*, 2024) comentam sobre a inevitabilidade da necessidade de colaboração entre humanos e máquinas, sendo capazes de dialogar e realizar tarefas juntos. Os autores (Carayannis, Canestrino e Magliocca, 2024) complementam que esses tipos de robôs trabalham juntos dos humanos para aumentar a eficiência e não tirar seus trabalhos, pois o objetivo é os robôs observar e aprender com os humanos. Na Figura 1 há uma representação desse tipo.

Figura 1 – Representação de *cobot*



Fonte: Owen-Hill (2022).

Os **robôs industriais**, mostrados na Figura 2, são definidos como uma máquina automática, reprogramável e multifuncional, projetada para executar tarefas repetitivas. A robótica industrial envolve as tecnologias que permitem que o robô esteja preparado para executar tarefas de produção e então funcione sem problemas (Figlie *et al.*, 2024). Com o passar do tempo, as organizações começaram a identificar as vantagens e desvantagens do uso de robôs em determinadas etapas produtivas. Isso impulsionou investimentos e estudos nessa área tecnológica, que gradualmente ganharam mais espaço e visibilidade. Atualmente, diversas atividades utilizam robôs para executar tarefas complexas que exigem rapidez e precisão, como montagem, pintura (principalmente no setor automobilístico) e soldagem em processos industriais (Frascá e Bruno, 2021). Complementando, (Atkinson, 2024) descreve que os componentes dos robôs industriais são redutores de engrenagens de robôs, controladores de robôs e sistemas servo de robôs. Esses três principais insumos respondem por quase 70% dos custos de produção de robôs industriais.

Figura 2 – Representação de robô industrial



Fonte: Autentica Engenharia (2025) .

Os robôs classificados como “**móveis**” são projetados para se mover de forma autônoma ou semiautônoma em diferentes ambientes (vide Figura 3). Segundo (Aizat, Qistina e Rahiman, 2024) o veículo robótico em um ambiente complexo modifica sua trajetória ou caminho planejado para evitar os obstáculos observados. Os autores (Tripicchio *et al.*, 2024) descrevem que a localização precisa, o mapeamento e a consciência ambiental são necessários para planejamento e movimento de robôs eficazes.

Figura 3 – Representação de robôs móveis



Fonte: Mecalux (2025).

Os robôs também podem ser classificados conforme funções específicas, dentre elas as de “**Inspeção e Monitoramento**”, que visam examinar, observar e coletar dados em ambientes complicados para seres humanos. Segundo (Balasubramanian et al., 2024) esses robôs são capazes de monitorar e parar as atividades em uma construção ao perceber uma irregularidade no clima. No exemplo da Figura 4 é utilizado um robô para inspeção em subestações de alta tensão.

Figura 4 - Robô de inspeção e monitoramento



Fonte: Lactec (2022).

Os **robôs de manipulação** caracterizam-se por interagir fisicamente com objetos ou materiais, como por exemplo os braços robóticos que são capazes de manipular esses, agarrando-os e rastreando a trajetória dos objetos que estão manipulando mostrados na Figura 5 (Kiyokawa, Takamatsu e Koyanaka, 2024).

Figura 5 – Representação de robôs de manipulação



Fonte: (ARV Systems, 2025).

A categoria **agrícola** se destaca na temática de robôs, até porque as primeiras aplicações das tecnologias de indústria 4.0 foram nesse setor. Conforme (Latino, Menegoli e Corallo, 2024), eles são úteis na coleta de dados e na captura de imagens, além da automatização de tarefas como a administração das substâncias na agricultura, monitoramento e suporte na produção. A Figura 6 ilustra esse tipo de robô.

Figura 6 – Representação de robô agrícola



Fonte: Duarte (2021).

Os **drones** ou VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) têm a vantagem de serem controlados remotamente ou operar de forma autônoma, usando *software* e sensores de navegação. (Balasubramanian et al., 2024) explicam que os drones conseguem facilitar o monitoramento e o supervisionamento de projetos construções civis e o relato das informações obtidas. Esse tipo também é muito utilizado na agricultura para captura de imagens e monitoramento (Latino, Menegoli e Corallo, 2024). Nos últimos anos, o uso de drones na indústria cresceu significativamente, especialmente para inspeções visuais de ativos. Com a combinação da praticidade e precisão oferecidas pelos sistemas embarcados em RPA (*Robotic Process Automation*), as empresas estão conseguindo coletar dados de alta qualidade de forma mais rápida, além de acessar locais perigosos ou inacessíveis para humanos (Corona, Araújo e Toscano, 2020). Na Figura 7 há um tipo de drone.

Figura 7 – Exemplo de drone



Fonte: Mendonça (2025).

A nomenclatura de “**de serviços**” é aplicada para os robôs que auxiliam os seres humanos nas tarefas de ambientes não industriais, conforme pode ser visto na Figura 8. Um exemplo são os robôs cirúrgicos que, segundo (Chen, J. et al., 2024) atuam na área da saúde, sendo capazes de aprender e executar as estratégias aprendidas de forma autônoma, onde esse aprendizado acontece de forma visual com demonstrações. Além disso, também ocorre a interação entre humano e máquina, com o humano controlando o robô durante a cirurgia sem a necessidade de nenhuma ação manual.

Figura 8 – Representação de robô de serviço



Fonte: Converging (2022).

Os robôs **autônomos**, conforme remete o nome, operam de forma independente, sem a necessidade de intervenção humana direta durante a execução de suas tarefas, como exemplificado na Figura 9. Um exemplo seria um veículo robótico, que além de ser um robô móvel, também é um robô autônomo capaz de modificar sua trajetória ou caminho planejado para evitar os obstáculos observados em (Aizat, Qistina e Rahiman, 2024) e também podendo fazer isso sem a interação de algum funcionário (Cetindamar et al., 2024).

Figura 9 – Representação de robô autônomo



Fonte: ARV Systems (2025).

Um tipo não muito conhecido, mas identificado nos artigos são os robôs de **holoportação**, que significa a combinação da captura volumétrica 3D, realidade aumentada ou realidade mista e redes de comunicação avançadas para criar uma experiência interativa e imersiva. O intuito é permitir a presença virtual de uma pessoa em um local remoto. Segundo (Kaigom, 2024) a aparição, desaparecimento e interação multimodais contínuos com gêmeos digitais cognitivos de robôs físicos e seus ambientes, teletransportados espacialmente (ou seja, holoportados) para locais físicos, mesmo em movimento, permitem um acesso e operação contextualizados de robôs disponíveis sob demanda, a qualquer hora e em qualquer lugar, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Representação de robô de holoportação



Fonte: Riccio (2023)

Durante a revisão da literatura, observou-se o uso frequente e por vezes intercambiável dos termos “robôs industriais”, “móveis” e “autônomos”. Para evitar ambiguidades e garantir maior clareza conceitual, a Tabela 2 descreve as principais distinções entre esses termos, conforme identificados nos artigos analisados.

Tabela 2 – Diferenças conceituais entre robôs industriais, móveis e autônomos

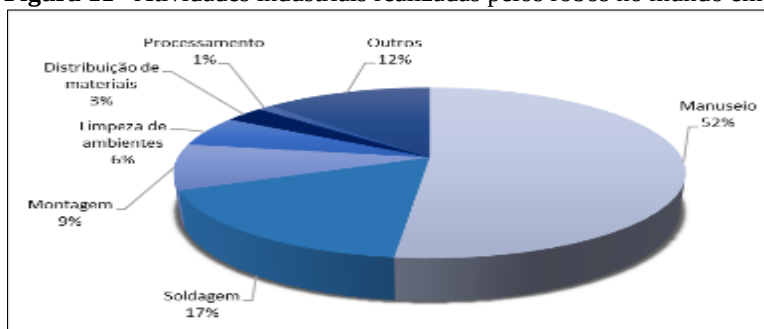
Termo	Definição	Exemplo típico	Observações
Robô industrial	Sistema automatizado usado em ambientes de manufatura para executar tarefas repetitivas e precisas.	Braço robótico em linha de montagem automotiva	Pode ser fixo; nem sempre é móvel ou autônomo.
Robô móvel	Robô capaz de se deslocar no ambiente, com ou sem trilhos ou orientação externa.	AGV (veículo guiado automatizado) em armazéns	Pode ser autônomo ou teleoperado; foca na capacidade de locomoção.

Robô autônomo	Robô que executa tarefas de forma independente, sem intervenção humana durante a operação.	Robô aspirador que mapeia e limpa cômodos sozinho	Pode ser móvel ou fixo; o foco está na tomada de decisão e execução sem controle externo.
---------------	--	---	---

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos conceitos extraídos da literatura analisada.

Em síntese, na Figura 11 há as atividades realizadas pelos robôs nas indústrias em 2023, sendo que a manipulação e manuseio de objetos representou 52%, seguidos de operações de solda, demonstrando que a maioria das aplicações são movimentos repetitivos e padronizados. Por fim, a Figura 12 sintetiza as dez categorias de robôs identificadas nesse artigo e suas características.

Figura 11 –Atividades industriais realizadas pelos robôs no mundo em 2023



Fonte: IFR (2025).

Figura 12 – Síntese das dez classificações de robôs

Cobot  Agem em conjunto com humanos no ambiente de trabalho Maior eficiência na realização das tarefas Observam e aprendem com os trabalhadores	Agrícolas  Tarefas automatizadas em ambientes agrícolas Aumento no desempenho das atividades Coleta de dados, monitoramento e suporte na produção
Industriais  Automático Reprogramável Multifuncional	Drones  Controlado remotamente ou opera de forma autônoma Facilitam monitoramento e o supervisionamento de projetos Úteis para coleta de dados, principalmente imagens
Móveis  Se movem de forma autônoma Capaz de analisar e alterar sua trajetória quando necessário Localização precisa, mapeamento e consciência ambiental	Serviço  Realizam tarefas que auxiliam seres humanos em ambientes não industriais. Capazes de aprender e executar estratégias aprendidas de forma autônoma. Podem atuar em áreas como cirúrgicas ou comerciais.
Inspeção e Monitoramento  Examinar, observar e coletar dados Capazes de monitorar e interferir em atividades em casos de irregularidades	Autônomos  Operam de forma independente. Podem alterar sua trajetória.
Manipulação  Interagem fisicamente com objetos Capazes de monitorar e interferir em atividades em casos de irregularidades	Holoportação  Combina robótica e holoportação para permitir a presença virtual de uma pessoa em um local remoto. Permitem um acesso e operação contextualizados de robôs disponíveis sob demanda, a qualquer hora e em qualquer lugar.

Fonte: elaborada pelos autores.

Foi proposta uma classificação dos robôs em dez categorias – *cobot*, industrial, móvel, inspeção e monitoramento, manipulação, agrícolas, drones, serviço, autônomo e holoportação. Todos eles foram caracterizados e exemplificados. Quanto ao tipo, é possível cinco classificações conforme a função dos robôs:

- *Cobots* - manipulação e industrial;
- Móveis - inspeção e monitoramento, autônomo;

- Drones - inspeção e monitoramento e agrícolas;
- Serviço – holoportação.
- Autônomos – móveis e drones.

Uma outra classificação proposta é quanto à aplicação, mais especificamente o local, ou seja, em ambiente industrial, agrícola ou em serviços:

- Industrial – autônomos, móveis, *cobots*, inspeção e monitoramento, manipulação e holoportação;
- Agrícola – drones, móveis, autônomos, holoportação e *cobots*;
- Serviço - inspeção e monitoramento, móveis, autônomos, holoportação, *cobots* e drones.

Ainda assim, na prática muitas das aplicações de robôs na área médica e de saúde, em serviços de atendimento ao cliente (hotéis, restaurantes e aeroportos), transporte e logística, nas tarefas de inspeção e manutenção, aplicações residenciais, construção civil e orientados à busca, resgate e segurança.

A Tabela 3 classifica os dez tipos de robôs identificados nos 54 artigos da literatura, mostrando quais sistemas robóticos aparecem em cada estudo, permitindo entender quais são os mais comuns atualmente, sendo que os colaborativos e os autônomos, são recorrentes em diversos estudos. Além disso, tecnologias como IA e IoT são as mais frequentemente mencionadas como complementares aos sistemas robóticos, sugerindo uma convergência dessas inovações. Uma classificação precisa se torna difícil dado que as categorias se misturam (um drone pode ser agrícola, um *cobot* também é um robô industrial, um robô de serviço também é holoportação, etc). Assim, para a classificação buscou-se preservar os termos descritos pelos autores.

Tabela 3 – Classificação dos tipos de robôs dos 54 artigos analisados

Referência	Cobot	Industrial	Móvel	Inspeção	Manipulação	Agrícola	Drone	Serviço	Autônomo	Holoporação
(Ahmad <i>et al.</i> , 2024)	✓	✓							✓	
(Aizat, Qistina e Rahiman, 2024)			✓						✓	
(Alexander, Chau e Saldana, 2024)	✓								✓	
(Behnke e Austad, 2024)		✓	✓		✓					
(Boltsi <i>et al.</i> , 2024)		✓								
(Bouzarkouna <i>et al.</i> , 2024)							✓			
(Cammarano <i>et al.</i> , 2024)		✓							✓	
(Carayannis, Canestrino e Magliocca, 2024)	✓	✓	✓					✓		
(Cetindamar <i>et al.</i> , 2024)	✓	✓	✓						✓	
(Chen, J. <i>et al.</i> , 2024)	✓	✓							✓	
(Chen, L. <i>et al.</i> , 2024)			✓						✓	
(Cheng <i>et al.</i> , 2024)									✓	
(Frag, Stefanovic e Gidlund, 2024)	✓	✓								
(Figlie <i>et al.</i> , 2024)		✓								
(Gu <i>et al.</i> , 2024)		✓								
(Hafi <i>et al.</i> , 2024)									✓	
(Hu <i>et al.</i> , 2024)									✓	
(Ietto <i>et al.</i> , 2024)	✓									
(Joshi <i>et al.</i> , 2024)	✓								✓	
(Kaigom, 2024)	✓	✓	✓		✓				✓	✓
(Kamdjou <i>et al.</i> , 2024)		✓								
(Khosravy <i>et al.</i> , 2024)	✓		✓	✓	✓			✓	✓	
(Kiyokawa, Takamatsu e Koyanaka, 2024)					✓					
(Kroep <i>et al.</i> , 2024)	✓		✓						✓	
(Latino, Menegoli e Corallo, 2024)						✓	✓			
(Li <i>et al.</i> , 2024)		✓								
(Lim <i>et al.</i> , 2024)		✓								
(Lumpp <i>et al.</i> , 2024)		✓								

Uma classificação dos robôs industriais a partir da literatura em 2024

(Lv <i>et al.</i> , 2024)		✓								
(Park <i>et al.</i> , 2024)		✓								
(Rayhana <i>et al.</i> , 2024)	✓	✓	✓							
(Real e Torres, 2024)	✓									
(Salva-Garcia <i>et al.</i> , 2024)			✓						✓	
(Sharma, Tomar e Hazra, 2024)	✓									
(Tallat <i>et al.</i> , 2024)	✓	✓								
(Tika e Bajcinca, 2024)		✓								
(Tripicchio <i>et al.</i> , 2024)			✓							
(Herbruggen, Van <i>et al.</i> , 2024)		✓	✓						✓	
(Verma e Singh, 2024)	✓			✓					✓	
(Viceconti <i>et al.</i> , 2024)		✓								
(Victor <i>et al.</i> , 2024)	✓		✓	✓		✓	✓		✓	
(Walia, Kumar e Gill, 2024)		✓	✓	✓	✓			✓		
(Wang <i>et al.</i> , 2024)		✓							✓	
(Xiang <i>et al.</i> , 2024)	✓	✓								
(Yejiào <i>et al.</i> , 2024)		✓	✓	✓				✓	✓	

Fonte: elaborada pelos autores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse artigo teve como objetivo classificar os robôs presentes no ambiente industrial, identificar as tendências e suas aplicações. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, na qual foram analisados 54 artigos do ano de 2024 sobre o tema. Sobre a pergunta de pesquisa dos principais trabalhos, pesquisadores e países que publicaram sobre a temática, identificou-se que os artigos destaque foram:

- (Khosravy et al., 2024) - *Human-Collaborative artificial intelligence along with social values in industry 5.0: a survey of the state-of-the-art*. Esse artigo fornece uma visão da indústria 5.0, além de mostrar como seria o funcionamento, a interação e o aprendizado contínuo dos *cobots* dentro da indústria;
- (Latino, Menegoli e Corallo, 2024) - *Agriculture digitalization: a global examination based on bibliometric analysis*. Esse artigo detalha o uso de robótica e drone na coleta de dados na agricultura, e como isso contribui no monitoramento, na administração e automação das tarefas;
- (Sharma, Tomar e Hazra, 2024) - *Edge computing for industry 5.0: fundamental, applications, and research challenges*. Esse artigo esclarece a relação de trabalho entre *cobots* e humanos, e com isso, suas respectivas funções, sendo os *cobots* responsáveis por atividades repetitivas e os humanos responsáveis pelo raciocínio crítico e criatividade.
- (Verma e Singh, 2024) - *The employees intention to work in artificial intelligence-based hybrid environments*. Esse artigo fornece uma ótima explicação para o que os *cobots* foram projetados, deixando claro que sua principal função é aumentar a produtividade ao mesmo tempo que garante a segurança dos trabalhadores que estão junto da máquina.

O critério de seleção foi relacionado às tendências, principalmente de colaboração humanos e robôs, além de definições, funções e contribuições que auxiliaram na categorização dos robôs e sua relação com a indústria.

Os países que mais publicaram foram a China, com 32% das publicações, o que também se evidencia na prática, quando verificado que é o país do mundo com mais robôs instalados. No entanto, a Coreia do Sul é o país que mais produz robôs. Também foi realizada uma comparação com os Estados Unidos, que foram os pioneiros nessa tecnologia. A maioria das patentes norte americanas são em parceria com as empresas, ao contrário que são desenvolvidas com as universidades.

Os dez tipos de robôs foram classificados quanto à aplicação e função, sendo eles definidos e caracterizados. Quanto às tendências nessa temática, foi reforçado nos estudos analisados que há a necessidade de utilizar cada vez mais os *cobots* nos ambientes industriais, projetando-os para trabalhar junto aos funcionários, aumentando a eficácia e a segurança. A implementação das demais tecnologias da indústria 4.0 torna-se necessária com a integração da inteligência artificial e a internet das coisas, em aplicações que envolvem uma automação flexível, com sistemas robóticos adaptáveis a diferentes tarefas, reduzindo a necessidade de reprogramações complexas. Outras tendências apontam para a utilização da manutenção preditiva com IA, desenvolvimento de robôs menores e mais precisos para aplicações delicadas e a utilização de sensores avançados e visão computacional para a melhoria da qualidade dos produtos e processos.

No entanto, países com baixa adoção dessa tecnologia, como o Brasil, ainda precisam superar os desafios, tais como o alto custo inicial para a aquisição e integração de robôs na linha de produção; a complexidade de integração que envolve o treinamento e mão-de-obra qualificada. A cibersegurança também é uma ameaça, até por causa das atualizações constantes que os robôs exigem para acompanhar as inovações. Além disso, a questão social relacionada

à resistência da adoção dessa tecnologia é uma barreira relacionada ao receio do desemprego dos trabalhadores.

Como limitação, esse trabalho restringiu-se somente à análise dos artigos da base de dados *IEEE Xplorer* e do ano de 2024. Para trabalhos futuros, serão analisados cases de aplicação de robôs industriais de empresas de Santa Catarina para avaliar o aumento da produtividade e a redução de acidentes de trabalho com a implementação de robôs.

Agradecimentos

Os autores agradecem à bolsa de iniciação científica PIBIC/CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC).

REFERÊNCIAS

AHMAD, I. *et al.* Communications Security in Industry X: A Survey. **IEEE Open Journal of the Communications Society**, v. 5, p. 982–1025, 2024.

AIZAT, M.; QISTINA, N.; RAHIMAN, W. A Comprehensive Review of Recent Advances in Automated Guided Vehicle Technologies: Dynamic Obstacle Avoidance in Complex Environment Toward Autonomous Capability. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 73, p. 1–25, 2024.

ALEXANDER, Z.; CHAU, D. H.; SALDANA, C. An Interrogative Survey of Explainable AI in Manufacturing. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 20, n. 5, p. 7069–7081, 1 maio 2024.

ALI, Z. *et al.* Impact of Receiver Thermal Noise and PLL RMS Jitter in Radar Measurements. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 73, p. 1–10, 2024.

ARV SYSTEMS. **Célula de manipulação.**

ATKINSON, R. D. **How Innovative Is China in the Robotics Industry?** Washington, DC: [s.n.].

AUTENTICA ENGENHARIA. **Expertise da Autêntica na Elaboração e Implementação de Robôs Kuka.**

BALASUBRAMANIAN, S. *et al.* Construction Industry 4.0 and Sustainability: An Enabling Framework. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, p. 1–19, 2024.

BEHNKE, I.; AUSTAD, H. Real-Time Performance of Industrial IoT Communication Technologies: A Review. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 11, n. 5, p. 7399–7410, 1 mar. 2024.

BELHOSTE, B.; CORREIA, A. P. P. A figura do arquiteto-engenheiro na antiguidade. **Revista Linhas**, v. 12, n. 1, p. 05–18, 2011.

BELLAVISTA, P. *et al.* ODTE: A Metric for Digital Twin Entanglement. **IEEE Open Journal of the Communications Society**, v. 5, p. 2377–2390, 2024.

BOLTSI, A. *et al.* Digital Tools, Technologies, and Learning Methodologies for Education 4.0 Frameworks: A STEM Oriented Survey. **IEEE Access**, v. 12, p. 12883–12901, 2024.

BOUZARKOUNA, I. *et al.* Optimal Deployment of Fog-Based Solution for Connected Devices in Smart Factory. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 20, n. 4, p. 5137–5146, 1 abr. 2024.

CAMMARANO, A. *et al.* A Framework for Investigating the Adoption of Key Technologies: Presentation of the Methodology and Explorative Analysis of Emerging Practices. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, p. 3843–3866, 2024.

CARAYANNIS, E. G.; CANESTRINO, R.; MAGLIOCCA, P. From the Dark Side of Industry 4.0 to Society 5.0: Looking “Beyond the Box” to Developing Human-Centric Innovation Ecosystems. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, p. 6695–6711, 2024.

CETINDAMAR, D. *et al.* Explicating AI Literacy of Employees at Digital Workplaces. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, p. 810–823, 2024.

CHEN, J. *et al.* Networking Architecture and Key Supporting Technologies for Human Digital Twin in Personalized Healthcare: A Comprehensive Survey. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 26, n. 1, p. 706–746, 2024.

CHEN, L. *et al.* Smart Mining With Autonomous Driving in Industry 5.0: Architectures, Platforms, Operating Systems, Foundation Models, and Applications. **IEEE Transactions on Intelligent Vehicles**, v. 9, n. 3, p. 4383–4393, 1 mar. 2024.

CHENG, C. *et al.* When Does Digital Technology Adoption Enhance Firms’ Sustainable Innovation Performance? A Configurational Analysis in China. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, p. 1555–1568, 2024.

CONVERGINT. **A era dos robôs de serviço.**

CORONA, C. M.; ARAÚJO, K. DE S.; TOSCANO, F. L. P. **A importância do uso de drones nas inspeções industriais para gerenciamento de riscos.** XL ENEGEP - Encontro Nacional De Engenharia De Produção “Contribuições da Engenharia de Produção para a Gestão de Operações Energéticas Sustentáveis”. **Anais...**Foz do Iguaçu: ABEPRO, 20 out. 2020.

DU, Y. *et al.* A Reinforcement Learning Approach for Flexible Job Shop Scheduling Problem With Crane Transportation and Setup Times. **IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems**, v. 35, n. 4, p. 5695–5709, 1 abr. 2024.

DUARTE, D. A. **Mercado de robôs agrícolas vai quadruplicar em cinco anos, diz estudo.**

FAHRMANN, D. *et al.* Anomaly Detection in Smart Environments: A Comprehensive Survey. **IEEE Access**, v. 12, p. 64006–64049, 2024.

FARAG, H.; STEFANOVIC, C.; GIDLUND, M. Distributed Backlog-Aware Protocol for Heterogeneous D2D Communication-Assisted Wireless Sensor Networks. **IEEE Transactions on Mobile Computing**, v. 23, n. 5, p. 3981–3992, 1 maio 2024.

FIGLIE, R. *et al.* Towards a Taxonomy of Industrial Challenges and Enabling Technologies in Industry 4.0. **IEEE Access**, v. 12, p. 19355–19374, 2024.

FRASCÁ, G. E.; BRUNO, D. R. Automação: Introdução à Robótica Industrial. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 2, p. 639–651, 20 dez. 2021.

GONÇALVES, J.; MOURA, D. DE A. **Al-Jazari: um cientista esquecido na educação brasileira** CONICT - Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia. **Anais...**São Paulo: IFSP, 2023

GU, H. *et al.* AI-Enhanced Cloud-Edge-Terminal Collaborative Network: Survey, Applications, and Future Directions. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 26, n. 2, p. 1322–1385, 2024.

HAFI, H. *et al.* Split Federated Learning for 6G Enabled-Networks: Requirements, Challenges, and Future Directions. **IEEE Access**, v. 12, p. 9890–9930, 2024.

HÄGELE, M. *et al.* Industrial Robotics. *Em*: [s.l.: s.n.]. p. 1385–1422.

HERBRUGGEN, B. VAN *et al.* Selecting and Combining UWB Localization Algorithms: Insights and Recommendations From a Multi-Metric Benchmark. **IEEE Access**, v. 12, p. 16881–16901, 2024.

HONDA. **Asimo: o robzinho que encantou o mundo**. Disponível em: <<https://www.honda.com.br/motos/blog/asimo-o-robzinho-que-encantou-o-mundo>>. Acesso em: 16 jan. 2025.

HU, X. *et al.* How Simulation Helps Autonomous Driving: A Survey of Sim2real, Digital Twins, and Parallel Intelligence. **IEEE Transactions on Intelligent Vehicles**, v. 9, n. 1, p. 593–612, 1 jan. 2024.

IETTO, B. *et al.* The Role of External Actors in SMEs' Human-Centered Industry 4.0 Adoption: An Empirical Perspective on Italian Competence Centers. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, p. 1057–1072, 2024.

IFR. **World Robotics 2023 Report: Asia ahead of Europe and the Americas**. Frankfurt: [s.n.].

JIN, J. *et al.* Cloud-Fog Automation: Vision, Enabling Technologies, and Future Research Directions. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 20, n. 2, p. 1039–1054, 1 fev. 2024.

JOSHI, K. *et al.* Exploring the Connectivity between Education 4.0 and Classroom 4.0: Technologies, Student Perspectives, and Engagement in the Digital Era. **IEEE Access**, v. 12, p. 24179–24204, 2024.

KAIGOM, E. G. Metarobotics for Industry and Society: Vision, Technologies, and Opportunities. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 20, n. 4, p. 5725–5736, 1 abr. 2024.

KAMDJOU, H. M. *et al.* Resource-Constrained EXtended Reality Operated with Digital Twin in Industrial Internet of Things. **IEEE Open Journal of the Communications Society**, v. 5, p. 928–950, 2024.

KHOSRAVY, M. *et al.* Human-Collaborative Artificial Intelligence Along With Social Values in Industry 5.0: A Survey of the State-of-the-Art. **IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems**, v. 16, n. 1, p. 165–176, 1 fev. 2024.

KIYOKAWA, T.; TAKAMATSU, J.; KOYANAKA, S. Challenges for Future Robotic Sorters of Mixed Industrial Waste: A Survey. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 21, n. 1, p. 1023–1040, 1 jan. 2024.

KROEP, K. *et al.* ETVO: Effectively Measuring Tactile Internet With Experimental Validation. **IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING**, v. 23, n. 3, 2024.

KURUNATHAN, H. *et al.* Machine Learning-Aided Operations and Communications of Unmanned Aerial Vehicles: A Contemporary Survey. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 26, n. 1, p. 496–533, 2024.

LACTEC. **Lactec desenvolve robô para inspeção em subestações de extra alta tensão.**

LATINO, M. E.; MENEGOLI, M.; CORALLO, A. Agriculture Digitalization: A Global Examination Based on Bibliometric Analysis. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, p. 1330–1345, 2024.

LI, X. *et al.* Identifying the Development Trends and Technological Competition Situations for Digital Twin: A Bibliometric Overview and Patent Landscape Analysis. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, p. 1998–2021, 2024.

LIM, H. R. *et al.* Evaluation of Real-Time Monitoring on the Growth of Spirulina Microalgae: Internet of Things and Microalgae Technologies. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 11, n. 2, p. 3274–3281, 15 jan. 2024.

LIU, Z. *et al.* Performance Comparison of UWB IEEE 802.15.4z and IEEE 802.15.4 in Ranging, Energy Efficiency, and Positioning. **IEEE Sensors Journal**, v. 24, n. 8, p. 12481–12489, 15 abr. 2024.

LU, J. *et al.* Supporting Teachers' Professional Development With Generative AI: The Effects on Higher Order Thinking and Self-Efficacy. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 17, p. 1279–1289, 2024.

LUMPP, F. *et al.* Enabling Kubernetes Orchestration of Mixed-Criticality Software for Autonomous Mobile Robots. **IEEE Transactions on Robotics**, v. 40, p. 540–553, 2024.

LV, J. *et al.* A Multimodality Scene Graph Generation Approach for Robust Human-Robot Collaborative Assembly Visual Relationship Representation. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 20, n. 3, p. 3242–3251, 1 mar. 2024.

MECALUX. **Robôs móveis autônomos (AMR).**

MENDONÇA, G. **Drones revolucionam setor agropecuário e atraem profissionais para capacitação.**

OWEN-HILL, A. **What You Need to Know About Collaborative Robot Safety.**

PARK, S. Y. *et al.* Enhancement of Control Performance for Degraded Robot Manipulators Using Digital Twin and Proximal Policy Optimization. **IEEE Access**, v. 12, p. 19569–19583, 2024.

RAYHANA, R. *et al.* Digital Twin Models: Functions, Challenges, and Industry Applications. **IEEE Journal of Radio Frequency Identification**, v. 8, p. 282–321, 2024.

REAL, C.; TORRES, Y. Effect of Changes in the Sequence of Assembly Operations on Error Rates: A Case Study from the Car Manufacturing Industry. **IEEE Access**, v. 12, p. 34644–34655, 2024.

RICCIO, G. **Engenharia de mídia: viajando em 3D sem se mover graças ao holotransporte.**

SALVA-GARCIA, P. *et al.* An eBPF-XDP Hardware-Based Network Slicing Architecture for Future 6G Front-to Back-Haul Networks. **IEEE Transactions on Network and Service Management**, v. 21, n. 2, p. 2224–2239, 1 abr. 2024.

SHARMA, M.; TOMAR, A.; HAZRA, A. Edge Computing for Industry 5.0: Fundamental, Applications, and Research Challenges. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 11, n. 11, p. 19070–19093, 1 jun. 2024.

TALLAT, R. *et al.* Navigating Industry 5.0: A Survey of Key Enabling Technologies, Trends, Challenges, and Opportunities. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 26, n. 2, p. 1080–1126, 2024.

TIKA, A.; BAJCINCA, N. Predictive Control of Cooperative Robots Sharing Common Workspace. **IEEE Transactions on Control Systems Technology**, v. 32, n. 2, p. 456–471, 1 mar. 2024.

TRIPICCHIO, P. *et al.* A UHF Passive RFID Tag Position Estimation Approach Exploiting Mobile Robots: Phase-Only 3D Multilateration Particle Filters With No Unwrapping. **IEEE Access**, v. 12, p. 58778–58788, 2024.

VERMA, S.; SINGH, V. The Employees Intention to Work in Artificial Intelligence-Based Hybrid Environments. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, p. 3266–3277, 2024.

VICECONTI, M. *et al.* Position Paper from the Digital Twins in Healthcare to the Virtual Human Twin: A Moon-Shot Project for Digital Health Research. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 28, n. 1, p. 491–501, 1 jan. 2024.

VICTOR, N. *et al.* Remote Sensing for Agriculture in the Era of Industry 5.0-A Survey. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 17, p. 5920–5945, 2024.

WALIA, G. K.; KUMAR, M.; GILL, S. S. AI-Empowered Fog/Edge Resource Management for IoT Applications: A Comprehensive Review, Research Challenges, and Future Perspectives. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 26, n. 1, p. 619–669, 2024.

WANG, J. *et al.* Intelligent Joint Actuator Fault Diagnosis for Heavy-Duty Industrial Robots. **IEEE Sensors Journal**, v. 24, n. 9, p. 15292–15301, 1 maio 2024.

WEISS, A. *et al.* First Application of Robot Teaching in an Existing Industry 4.0 Environment: Does It Really Work? **Societies**, v. 6, n. 3, p. 20, 20 jul. 2016.

XIANG, W. *et al.* Advanced Manufacturing in Industry 5.0: A Survey of Key Enabling Technologies and Future Trends. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 20, n. 2, p. 1055–1068, 1 fev. 2024.

YEJIAO, W. *et al.* RFID Network Planning of Smart Factory Based on Swarm Intelligent Optimization Algorithm: A Review. **IEEE Access**, v. 12, p. 64980–64996, 2024.