



ConBRepro

XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

03 a 05 de dezembro de 2025

As Engenharias na Transformação Digital das PMEs

Robótica Colaborativa como Impulsionador da Transformação Digital em PMEs

Orlando Renato Brenner Lantmann

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Dambiski Gomes de Carvalho

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profa. Dra. Joseane Pontes

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: A robótica colaborativa vem se consolidando como um dos principais impulsionadores da transformação digital, especialmente no contexto da Indústria 4.0 e da Indústria 5.0. Se, por um lado, a Indústria 4.0 enfatiza a digitalização e a automação inteligente, por outro, a Indústria 5.0 avança ao integrar a cooperação humano-máquina, priorizando segurança, bem-estar e sustentabilidade. Nesse cenário, os cobots assumem papel estratégico, promovendo maior flexibilidade produtiva e permitindo que pequenas e médias empresas (PMEs) acessem tecnologias antes restritas a grandes corporações. O problema abordado neste artigo está relacionado à necessidade de compreender como a robótica colaborativa pode contribuir tecnologicamente, equilibrando ganhos de produtividade com ergonomia e interação centrada no humano. O objetivo deste trabalho compreender o papel da robótica colaborativa como impulsionadora da transformação digital em pequenas e médias empresas (PMEs), destacando sua relação com os princípios da Indústria 4.0 e 5.0. A metodologia consistiu em uma revisão sistemática da literatura, apoiada no framework PRISMA realizada em bases de dados reconhecidas internacionalmente, como Scopus e Web of Science. Os resultados apontam que os cobots são aplicados em diferentes setores, como montagem, inspeção, logística e reciclagem, apoiados por recursos como sensores inteligentes, visão computacional, realidade aumentada e Digital Twins. Constatou-se que essas aplicações não apenas reforçam a digitalização da Indústria 4.0, mas também promovem uma abordagem mais humana, segura e sustentável, alinhada às diretrizes da Indústria 5.0.

Palavras-chave: robótica colaborativa, transformação digital, Indústria 4.0, Indústria 5.0, PMEs

Collaborative Robotics as a Driver of Digital Transformation in SMEs

Abstract: Collaborative robotics has been consolidating itself as one of the main drivers of digital transformation, especially in the context of Industry 4.0 and Industry 5.0. While Industry 4.0 emphasizes digitalization and intelligent automation, Industry 5.0 advances by integrating human-machine cooperation, prioritizing safety, well-being, and sustainability. In this scenario, cobots play a strategic role by promoting greater production flexibility and enabling small and medium-sized enterprises (SMEs) to access technologies that were previously restricted to large corporations. The problem addressed in this article relates to the need to understand how collaborative robotics can contribute technologically, balancing productivity gains with ergonomics and human-centered interaction. The objective of this study is to understand the role of collaborative robotics as a driver of digital transformation in small and medium-sized enterprises (SMEs), highlighting its relationship with the principles of Industry 4.0 and 5.0. The methodology consisted of a systematic literature review supported by the PRISMA framework, carried out in internationally recognized databases such as Scopus and Web of Science. The results show that cobots are applied in different sectors, such as assembly, inspection, logistics, and recycling, supported by resources such as smart sensors, computer vision, augmented reality, and Digital Twins. It was found that these applications not only reinforce the digitalization of Industry 4.0 but also foster a more human, safe, and sustainable approach, aligned with the guidelines of Industry 5.0.

Keywords: Industry 4.0, Industry 5.0 Collaborative Robotics, Innovation Ecosystems

1 Introdução

A transformação digital no contexto da Indústria 4.0 tem promovido a incorporação de tecnologias habilitadoras que transformam os sistemas produtivos, ampliando a eficiência operacional, a flexibilidade e a capacidade de inovação das empresas. Entre essas tecnologias, a robótica colaborativa (cobots) ocupa papel de destaque por possibilitar uma integração mais próxima entre humanos e máquinas, especialmente em ambientes que demandam agilidade, segurança e personalização (RAFFIK et al., 2023; MOUHIB et al., 2024).

Os cobots diferenciam-se dos robôs industriais tradicionais por sua leveza, facilidade de programação e adaptabilidade, características que permitem seu uso em ambientes compartilhados com operadores humanos, sem a necessidade de barreiras físicas. Essa interação segura é garantida por sensores, câmeras e sistemas avançados de monitoramento, que possibilitam a detecção de presença humana e a prevenção de colisões (RAFFIK et al., 2023). Além disso, diferentemente dos robôs convencionais, que são projetados para processos de alta escala e baixa variabilidade, os cobots se destacam em cenários que exigem flexibilidade, personalização e colaboração direta (MOUHIB et al., 2024).

Essa abordagem está alinhada às diretrizes emergentes da Indústria 5.0, que amplia a lógica da Indústria 4.0 ao priorizar a colaboração entre pessoas e máquinas, valorizando a criatividade, a personalização e o bem-estar do trabalhador (MARINELLI, 2023). Nesse sentido, os cobots representam uma tecnologia que, ao mesmo tempo em que automatiza processos repetitivos ou de risco, também fortalece o papel humano na produção, favorecendo a criação de ambientes de trabalho mais equilibrados e inovadores. Assim, a robótica colaborativa surge como um impulsionador estratégico da transformação digital em pequenas e médias empresas (PMEs). Ao reunir flexibilidade, segurança e facilidade de integração, os cobots possibilitam que organizações de menor porte incorporem tecnologias avançadas sem a necessidade de grandes investimentos em infraestrutura. Isso se traduz em ganhos concretos de produtividade, qualidade e competitividade, ao mesmo tempo em que fortalece uma integração equilibrada entre tecnologia e capital humano. Dessa forma, os cobots deixam de ser apenas ferramentas operacionais e passam

a atuar como atores-chave na transformação cultural e tecnológica, permitindo que as PMEs acompanhem as mudanças globais e se mantenham competitivas em mercados cada vez mais exigentes.

Sandini et al. (2024) ressaltam, ainda, a evolução dos cobots para uma nova geração, os CoCoBots (Cognitive Collaborative Robots), que vão além da automação convencional ao incorporar cognição artificial. Esses sistemas são capazes de aprender continuamente a partir das interações, adaptar-se a mudanças no ambiente e colaborar de maneira mais natural com os humanos, refletindo uma abordagem mais avançada e integrada da Indústria 5.0. Complementarmente, Kumar et al. (2023) destacam que os cobots não apenas aumentam a produtividade e a segurança, mas também contribuem para a melhoria da qualidade dos processos industriais, especialmente em atividades que exigem alta precisão.

2. Metodologia

Este estudo buscou compreender o papel da robótica colaborativa como impulsionadora da transformação digital em pequenas e médias empresas (PMEs). Para isso, foram definidos previamente o escopo da pesquisa, os conceitos-chave como Indústria 4.0, Indústria 5.0 e cobots e os critérios de inclusão e exclusão dos estudos.

O desenvolvimento deste artigo consistiu em uma revisão da literatura sobre os temas centrais da pesquisa, realizada por meio de buscas em bases de dados acadêmicas, com a utilização de palavras-chave como “robótica colaborativa”, “cobots”, “Indústria 4.0”, “Indústria 5.0” e “PMEs”. Para a construção do portfólio de artigos que fundamenta o referencial teórico e orienta a estrutura geral do estudo, foi adotada a metodologia PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Esse framework fornece um conjunto de diretrizes que aprimoram a busca, seleção e organização dos estudos, garantindo maior qualidade, transparência e rigor metodológico às revisões sistemáticas. Como resultado do processo de seleção, foram identificados e escolhidos 15 artigos que compuseram o referencial teórico deste estudo.

3. Resultados teóricos

Os resultados vindos do portfólio teórico deste estudo fundamentam-se no papel das pequenas e médias empresas (PMEs) na economia global e nas tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 e 5.0 que impulsionam a transformação digital. São abordados conceitos de PMEs, sua relevância econômica, lacuna de produtividade e classificação de porte, bem como os principais recursos tecnológicos associados à robótica colaborativa, como Internet das Coisas, Big Data, Inteligência Artificial, Realidade Aumentada e Computação em Nuvem. O enfoque está na aplicação dessas tecnologias para melhorar a produtividade, a flexibilidade e a integração entre humanos e máquinas nos processos industriais.

Pequenas e Médias Empresas (PMEs)

As pequenas e médias empresas (PMEs), ou Micro-, Small, and Medium-Size Enterprises (MSMEs), são reconhecidas como o “sangue vital” das economias globais, desempenhando papel central na geração de empregos, criação de valor agregado e dinamização econômica (McKinsey Global Institute, 2024). Elas abrangem uma ampla variedade de negócios, desde indivíduos autônomos, como motoristas de táxi ou designers de jogos online, até microempresas (1-9 funcionários), pequenas empresas (10-49 funcionários) e médias empresas (50-250 funcionários), com variações conforme o contexto local. Por exemplo, em países como os Estados Unidos, médias empresas incluem até 500 funcionários, enquanto em alguns países emergentes, como Indonésia, Quênia e Nigéria,

os limites variam entre 100 e 200 funcionários. Em certas regiões, a definição também considera receita e investimentos em equipamentos (McKinsey Global Institute, 2024).

O estudo do McKinsey foca em MSMEs não agrícolas, abrangendo setores formais e informais, e utiliza a produtividade medida como valor agregado por trabalhador. As PMEs representam mais de 90% de todos os negócios, contribuem com aproximadamente 50% do valor agregado total e empregam mais de dois terços dos trabalhadores do setor empresarial, chegando a quase quatro quintos em economias emergentes. Entretanto, a produtividade média das PMEs é aproximadamente metade da das grandes empresas, evidenciando uma lacuna de produtividade (productivity gap) que pode ser reduzida por meio de interações estratégicas com grandes empresas, criando cenários de benefício mútuo (McKinsey Global Institute, 2024).

No contexto brasileiro, o BNDES classifica empresas com base na Receita Operacional Bruta (ROB) anual ou renda anual de clientes pessoas físicas, permitindo adequar programas, linhas de crédito e condições específicas a cada porte (BNDES, 2024). A classificação é definida da seguinte forma: microempresa (até R\$ 360 mil), pequena empresa (R\$ 360 mil a R\$ 4,8 milhões), média empresa I (R\$ 4,8 milhões a R\$ 90 milhões), média empresa II (R\$ 90 milhões a R\$ 300 milhões) e grande empresa (mais de R\$ 300 milhões). Essa segmentação evidencia a prioridade dada pelo BNDES ao apoio às PMEs, facilitando seu acesso a crédito e condições favoráveis de financiamento.

Tabela 1 – Tabela consolidada sobre dados de PMEs

Aspecto	Descrição	Fonte
Definição global de PMEs	Abrange indivíduos autônomos, microempresas (1-9 funcionários), pequenas empresas (10-49 funcionários) e médias empresas (50-250 funcionários), com variações por país e considerando, em alguns casos, receita e investimentos.	McKinsey Global Institute, 2024
Participação econômica	Representam >90% de todos os negócios, contribuem com ~50% do valor agregado e empregam mais de 2/3 dos trabalhadores; em emergentes, quase 4/5 do emprego.	McKinsey Global Institute, 2024
Lacuna de produtividade	Produtividade média das PMEs é cerca de metade da das grandes empresas (productivity gap), mitigável por interações estratégicas com grandes empresas.	McKinsey Global Institute, 2024
Classificação de porte no Brasil (BNDES)	Microempresa: ≤R\$ 360 mil Pequena: R\$ 360 mil a R\$ 4,8 milhões Média I: R\$ 4,8 mi a R\$ 90 mi Média II: R\$ 90 mi a R\$ 300 mi Grande: >R\$ 300 mi	BNDES, 2024
Pequena: R\$ 360 mil a R\$ 4,8 milhões	Adequar linhas de crédito, programas e condições específicas conforme porte, priorizando o apoio às PMEs.	BNDES, 2024

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Robótica colaborativa

A robótica, enquanto campo da engenharia e da ciência, tem desempenhado um papel central na transformação dos processos de manufatura, integrando tecnologias avançadas para atender às demandas de eficiência, precisão e flexibilidade. Historicamente, a robótica surgiu com sistemas automatizados projetados para executar tarefas repetitivas em ambientes industriais controlados, priorizando alta velocidade e repetibilidade (OTHMAN; YANG, 2023). Esses robôs iniciais operavam de forma isolada, frequentemente em áreas de segurança, com mínima interação humana, sendo otimizados para produção em massa (INKULU et al., 2022).

Com o avanço tecnológico, a robótica evoluiu para incorporar inteligência artificial (IA), sensores sofisticados, visão computacional, realidade aumentada (AR) e tecnologias como Internet das Coisas (IoT) e Digital Twin (DT), promovendo sistemas mais inteligentes, flexíveis e adaptáveis (CIOCH et al., 2024; OTHMAN; YANG, 2023). Essa evolução permitiu o desenvolvimento da robótica colaborativa, caracterizada pela interação direta e segura entre humanos e robôs, expandindo o papel da automação para ambientes produtivos mais dinâmicos e humanizados.

Tipos de colaboração

A colaboração entre humanos e robôs pode ser classificada em três tipos principais: coexistência, cooperação e colaboração direta, de acordo com o nível de interação e a divisão de tarefas. Na coexistência, humanos e robôs compartilham o espaço, mas realizam atividades separadas. Na cooperação, há tarefas complementares com alguma interação. Já na colaboração direta, ambos trabalham juntos na mesma tarefa, apoiados por sistemas inteligentes e técnicas de aprendizado de máquina. A Tabela 2 apresenta um resumo dessas categorias e suas referências.

Tabela 2 – Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa

Tipo de colaboração	Descrição resumida	Referências
Coexistência	Humanos e robôs compartilham o mesmo espaço, mas realizam tarefas separadas sem interação direta.	Karuppiah et al., 2023
Cooperação	Humanos e robôs realizam tarefas complementares, com alguma interação e divisão clara de responsabilidades.	Jennes; Di Minin, 2023
Colaboração direta	Humanos e robôs trabalham juntos na mesma tarefa, com sistemas inteligentes e suporte de IA e aprendizado de máquina.	Karuppiah et al., 2023

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Princípios de Segurança na Robótica Colaborativa

Os robôs colaborativos são projetados para realizar tarefas em conjunto com trabalhadores nos setores industriais. A Federação Internacional de Robótica classifica esses robôs em dois grupos principais, de acordo com suas conformidades de segurança.

O primeiro grupo inclui robôs que atendem à norma ISO 10218-1, a qual especifica requisitos e diretrizes para o design seguro, medidas protetoras e informações de uso de robôs industriais. Essa norma é fundamental para garantir a segurança na interação entre robôs e seres humanos, estabelecendo parâmetros que minimizam riscos e promovem um ambiente de trabalho seguro (UNIVERSAL ROBOTS).

O segundo grupo abrange robôs colaborativos que não se enquadram nos requisitos da ISO 10218-1. Isso não implica que esses robôs sejam inseguros; na verdade, eles podem seguir diferentes padrões de segurança, como normas nacionais ou internas, que também visam garantir a segurança e a eficiência em suas operações.

Essa definição destaca a importância da segurança no uso de robôs colaborativos, enfatizando que, independentemente da conformidade com a ISO, a proteção dos trabalhadores deve sempre ser uma prioridade nas aplicações industriais (Liu et al., 2022).

Tecnologias Habilitadoras

A transformação digital nas pequenas e médias empresas (PMEs) é impulsionada por um conjunto de tecnologias habilitadoras que integram sistemas físicos e digitais, promovendo maior eficiência, flexibilidade e tomada de decisão em tempo real. Essas tecnologias desempenham papel estratégico na robótica colaborativa, potencializando o desempenho, a segurança e a adaptabilidade dos cobots em ambientes industriais. A tabela abaixo apresenta algumas dessas tecnologias, suas descrições e possíveis aplicações práticas para PMEs:

Tabela 03 – Tecnologias habilitadoras e possíveis aplicações em PMEs

Tecnologia	Descrição (com citação)	Possível aplicação para PMEs
Internet das Coisas (IoT)	Conecta sensores, máquinas e sistemas, fornecendo dados em tempo real que permitem aos cobots interagir de forma inteligente com o ambiente e com operadores humanos. Com redes 5G, a IoT amplia a interoperabilidade e a coordenação entre múltiplos robôs e sistemas produtivos (RAHMAN et al., 2024).	Monitoramento remoto da produção, integração de máquinas em tempo real e maior eficiência no uso de recursos.
Big Data e Análise de Dados	Permitem processar grandes volumes de informações captadas por sensores, otimizando trajetórias, ajustando parâmetros operacionais e favorecendo a manutenção preditiva de cobots. Quando combinados à Inteligência Artificial (IA), esses dados permitem que os robôs colaborativos ajustem seu comportamento de forma	Otimização de processos, redução de falhas e suporte à tomada de decisão baseada em dados.

	autônoma, aumentando a flexibilidade e a eficiência operacional (CSERVENÁK; HUSÁR, 2024; RAHMAN et al., 2024).	
Inteligência Artificial (IA) e Machine Learning	Habilitam os cobots a tomar decisões autônomas, planejar trajetórias complexas e adaptar-se a mudanças no ambiente produtivo, contribuindo para uma operação mais segura e personalizada (RAHMAN et al., 2024; CSERVENÁK; HUSÁR, 2024).	Automação inteligente de processos, personalização de tarefas e aumento da segurança operacional.
Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV)	Apoiam o treinamento e a simulação de trajetórias de cobots, além de permitir validações de cenários produtivos de forma mais eficiente e segura (CICCARELLI et al., 2024; CSERVENÁK; HUSÁR, 2024).	Treinamento de colaboradores, testes de layout de fábrica e simulação de processos antes da implementação real.
Computação em Nuvem	Integra dados oriundos da IoT e dos Sistemas Ciberfísicos (CPS), permitindo análises centralizadas, escalabilidade e acesso remoto, o que fortalece a coordenação e monitoramento de cobots em ambientes de manufatura inteligente (RAHMAN et al., 2024).	Acesso remoto a dados, redução de custos com infraestrutura e maior flexibilidade no monitoramento de processos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Robótica Colaborativa na Transformação Digital de PMEs

A integração de robôs colaborativos (cobots) em processos industriais, alinhada aos princípios da Indústria 5.0, tem promovido avanços significativos em produtividade, segurança e facilidade de uso, especialmente em pequenas e médias empresas (PMEs), que buscam acelerar sua transformação digital. Hémono et al. (2025) demonstraram que a alocação otimizada de tarefas entre humanos e cobots em uma linha de perfuração aeronáutica reduziu o tempo desde o início da primeira tarefa até a conclusão da última em até 23,84% e diminuiu em 73,72% o tempo computacional, evidenciando ganhos de eficiência em tarefas de alta precisão.

Complementarmente, Yang et al. (2024) desenvolveram o HAR²bot, sistema de programação de cobots via realidade aumentada, que reduziu em 37% o tempo de configuração e otimizou o planejamento de trajetórias, permitindo ajustes dinâmicos e visualização intuitiva. Vitalli et al. (2024) compararam cobots e robôs industriais em tarefas de “pick and place” utilizando gêmeos digitais, constatando que, embora os robôs industriais apresentem maior velocidade, os cobots se destacam pela flexibilidade e capacidade de interação segura com humanos. Esses estudos evidenciam que a adoção de cobots em PMEs potencializa a digitalização, integrando tecnologia e capital humano para tornar os processos industriais mais adaptáveis, produtivos e centrados no trabalhador.

4. Análise dos Resultados Teóricos

A robótica colaborativa desempenha um papel estratégico como impulsionadora da transformação digital, especialmente para pequenas e médias empresas (PMEs), ao integrar tecnologias avançadas com práticas produtivas centradas no ser humano. No contexto da Indústria 4.0, os cobots permitem que PMEs ampliem a automação inteligente mesmo com recursos limitados, enquanto, na Indústria 5.0, contribuem para um modelo produtivo baseado em cooperação, flexibilidade e bem-estar. Como destacam Karuppiyah et al. (2023), a introdução de cobots redefine a relação entre operadores e máquinas, promovendo novos patamares de eficiência, segurança e competitividade, fatores essenciais para PMEs que buscam se destacar no mercado.

Os níveis de colaboração entre humanos e robôs estão diretamente relacionados à maturidade digital dos processos produtivos das empresas. A coexistência, em que humanos e máquinas compartilham o mesmo espaço sem interação direta, representa um estágio inicial de digitalização. Na cooperação, há uma divisão clara de tarefas com interação intermediária. Já a colaboração direta caracteriza a fase mais avançada, na qual humanos e robôs atuam de forma conjunta, apoiados por algoritmos de aprendizado de máquina e sistemas inteligentes, consolidando a transformação digital rumo à Indústria 5.0 (Jennes; Di Minin, 2023; Karuppiyah et al., 2023). Para PMEs, avançar nesses níveis de colaboração significa aumentar produtividade e qualidade sem necessidade de grandes investimentos em infraestrutura.

As aplicações industriais dos cobots evidenciam seu impacto direto na digitalização de processos das PMEs. Othman e Yang (2023) ressaltam seu uso em montagem, inspeção de qualidade, embalagem, logística e setores alimentícios, além de contextos de reciclagem e desmontagem eletrônica. Tais aplicações não apenas reforçam ganhos de eficiência e produtividade, mas também introduzem elementos de ergonomia e sustentabilidade, possibilitando que PMEs adotem práticas inovadoras alinhadas às tendências da Indústria 5.0.

Do ponto de vista tecnológico, os cobots contribuem para a transformação digital ao incorporar sensores inteligentes, visão computacional, interfaces baseadas em voz e gestos, realidade aumentada (AR) e Digital Twins. Segundo Cioch et al. (2024), esses avanços fortalecem a digitalização da Indústria 4.0 e, ao mesmo tempo, ampliam a interação centrada no humano e a adaptabilidade da Indústria 5.0, oferecendo às PMEs ferramentas estratégicas para otimizar processos e competir de forma mais ágil e inovadora.

5. Conclusões

Este artigo examinou de forma abrangente o papel da robótica colaborativa como impulsionadora da transformação digital em pequenas e médias empresas (PMEs), enfocando suas aplicações, benefícios e a integração com tecnologias habilitadoras, como Internet das Coisas (IoT), Big Data, Inteligência Artificial (IA), Realidade Aumentada/Virtual (AR/VR) e Computação em Nuvem. O objetivo deste trabalho foi compreender o papel da robótica colaborativa na promoção da transformação digital em PMEs, destacando como sua adoção estratégica pode proporcionar eficiência, segurança e flexibilidade operacional, ao mesmo tempo em que fortalece a integração equilibrada entre tecnologia e capital humano.

Para atingir esse objetivo, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, fundamentada no framework PRISMA (Page et al., 2021), com buscas em bases acadêmicas como Scopus e Web of Science. Essa abordagem permitiu organizar, classificar e analisar publicações relacionadas a cobots e tecnologias habilitadoras.

Os resultados sinalizam que os cobots podem proporcionar ganhos significativos em flexibilidade, eficiência, segurança e qualidade operacional, sobretudo quando apoiados por tecnologias digitais avançadas. Observou-se que sua implementação possibilita a personalização de processos, melhoria da ergonomia, redução de riscos ocupacionais e suporte à tomada de decisão em tempo real, evidenciando seu potencial estratégico para fortalecer a competitividade e a inovação nas PMEs.

As contribuições deste artigo incluem a sistematização das principais aplicações e tecnologias associadas à robótica colaborativa. Os resultados reforçam a importância da robótica colaborativa como ferramenta para a transformação digital das PMEs, demonstrando que a integração inteligente entre humanos e robôs pode gerar impactos significativos em produtividade, segurança, qualidade e sustentabilidade operacional, consolidando sua relevância no contexto da Indústria 4.0 e da emergente Indústria 5.0.

Referências

ABISHEK, B. A.; KAVYASHREE, T.; JAYALAKSHMI, R.; THARUNKUMAR, S.; RAFFIK, R. **Collaborative Robots and Cyber Security in Industry 5.0**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCEMENTS IN ELECTRICAL, ELECTRONICS, COMMUNICATION, COMPUTING AND AUTOMATION, 2., 2023. Anais [...]. [S.l.]: IEEE, 2023. p. 1-5. DOI: 10.1109/ICAECA56562.2023.10200319.

CIOCH, M.; KULISZ, M.; KANSKI, L. **Implementing AI collaborative robots in manufacturing - modeling enterprise challenges in Industry 5.0 with fuzzy logic**. Advances in Science and Technology-Research Journal, [S.l.], v. 18, n. 7, p. 229-238, 2024. DOI: 10.12913/22998624/192833.

CSERVENÁK, A.; HUSÁR, J. **A multidisciplinary learning model using AGV and AMR for Industry 4.0/5.0 laboratory courses: a study**. Applied Sciences-Basel, [S.l.], v. 14, n. 17, 2024. DOI: 10.3390/app14177965.

HÉMONO, P.; CHABANE, A. N.; SAHNOUN, M. **Multi objective optimization of human-robot collaboration: a case study in aerospace assembly line**. Computers & Operations Research, [S.l.], v. 174, 2025. DOI: 10.1016/j.cor.2024.106874.

INKULU, A. K.; BAHUBALENDRUNI, M. V. A. R.; DARA, A.; SANKARANARAYANASAMY, K. **Challenges and opportunities in human robot collaboration context of Industry 4.0 - a state of the art review**.

JENNES, P.; DI MININ, A. **Cobots in SMEs: implementation processes, challenges, and success factors**. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGY

AND ENTREPRENEURSHIP, 2023, [S.I.]. Anais [...]. [S.I.]: IEEE, 2023. p. 80-85. DOI: 10.1109/ICTE58739.2023.10488658.

KARUPPIAH, K.; SANKARANARAYANAN, B.; ALI, S. M.; BHALAJI, R. K. A. **Decision modeling of the challenges to human–robot collaboration in industrial environment: a real world example of an emerging economy**. Flexible Services and Manufacturing Journal, [S.I.], v. 35, n. 4, p. 1007-1037, 2023. DOI: 10.1007/s10696-022-09474-7.

KUMAR, A. A.; UZ ZAMAN, U. K.; PLAPPER, P. **Collaborative robots**. In: ZAMAN, U. K.; SIADAT, A.; BAQAI, A. A.; NAVEED, K.; KUMAR, A. A. (ed.). Handbook of Manufacturing Systems and Design: An Industry 4.0 Perspective. [S.I.]: CRC Press, 2023. p. 90-106. DOI: 10.1201/9781003327523-8.

MARINELLI, M. **From Industry 4.0 to Construction 5.0: exploring the path towards human-robot collaboration in construction**. Systems, [S.I.], v. 11, n. 3, 2023. DOI: 10.3390/systems11030152.

OTHMAN, U.; YANG, E. F. **Human-robot collaborations in smart manufacturing environments: review and outlook**. Sensors, [S.I.], v. 23, n. 12, 2023. DOI: 10.3390/s23125663.

SANDINI, G.; SCIUTTI, A.; MORASSO, P. **Collaborative robots with cognitive capabilities for Industry 4.0 and beyond**. AI, [S.I.], v. 5, n. 4, p. 1858-1869, 2024. DOI: 10.3390/ai5040092.

McKinsey Global Institute (2024):

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **A microscope on small businesses: Spotting opportunities to boost productivity**. Maio 2024. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/mgi>

Acesso em: 15 set. 2025.

BNDES (s.d.):

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES. Classificação de porte das empresas. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/empresa/credito/linha-credito>

Acesso em: 20 set. 2025.

ODENSE ROBOTICS. Odense Robotics. Disponível em: <https://www.odenserobotics.dk/>. Acesso em: 16 out. 2024.

LIU, L.; GUO, F.; ZOU, Z.; DUFFY, V. G. Aplicação, desenvolvimento e oportunidades futuras de robôs colaborativos (Cobots) na manufatura: uma revisão de literatura. *International Journal of Human–Computer Interaction*, v. 40, n. 4, p. 915–932, 2022.