



ConBREpro

XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

03 a 05 de dezembro de 2025

As Engenharias na Transformação Digital das PMEs

Clusters de Inovação como Estratégia para Digitalização e Fortalecimento de PMEs: Lições do Polo de Robótica Colaborativa em Odense

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: Em um cenário onde a busca por inovação tecnológica se torna cada vez mais importante para impulsionar a competitividade da indústria em seus mais diversos segmentos e processos de produção, fica muito evidente que o estímulo ao desenvolvimento de novas tecnologias e ferramentas de apoio se torna fundamental no processo de aceleração de ideias e do desenvolvimento do conceito da transformação digital dentro das indústrias. Desta forma, o objetivo deste artigo é explorar o impacto dos clusters de inovação dentro do ecossistema das empresas locais. Para isso, será realizada uma revisão de literatura e análise exploratória no Polo de Robótica Colaborativa de Odense (Dinamarca), considerado o Vale do Silício da robótica colaborativa, o estudo visa mostrar a correlação e os impactos na economia local, bem como, a contextualização do uso da robótica colaborativa, as principais tecnologias habilitadoras que estão fortemente integradas com o campo da robótica. Como resultado, o estudo buscou demonstrar os impactos positivos e como a integração dos diversos agentes de transformação: indústrias, centros de pesquisa e governo podem juntos apoiar tais iniciativas.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Indústria 5.0, Robótica Colaborativa, Clusters de Inovação

Innovation Clusters as a Strategy for the Digitalization and Strengthening of SMEs: Lessons from the Collaborative Robotics Hub in Odense

Abstract: In a scenario where the pursuit of technological innovation is becoming increasingly important to boost the competitiveness of industry across its various segments and production processes, it becomes evident that fostering the development of new technologies and support tools is fundamental to accelerating ideas and advancing the concept of digital transformation within industries. Thus, the purpose of this article is to explore the impact of innovation clusters within the ecosystem of local companies. To this end, a literature review and exploratory analysis will be carried out at the Collaborative Robotics Cluster in Odense (Denmark), considered the Silicon Valley of collaborative robotics. The study aims to show the correlation and impacts on the local economy, as well as the contextualization of the use of collaborative robotics, the main enabling technologies that are strongly integrated with the field of robotics. As a result, the study sought to demonstrate the positive impacts and how the integration of various transformation agents and industries, research centers, and government—can jointly support such initiatives.

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

1 Introdução

Com o avanço da Indústria 4.0, o setor industrial tem passado por uma transformação profunda, impulsionada pela integração de tecnologias digitais, automação e conectividade. Neste contexto, os clusters de inovação são fundamentais para o desenvolvimento de novos processos, produtos e soluções tecnológicas, criando ao seu redor é uma rede de empresas, universidades, centros de pesquisa e outras organizações que colaboram de forma estratégica para estimular a inovação e a competitividade em setores específicos.

Esses clusters permitem o intercâmbio contínuo de conhecimento, o desenvolvimento de projetos conjuntos e a aceleração da pesquisa e desenvolvimento, proporcionando às indústrias locais vantagens competitivas em um cenário global cada vez mais dinâmico.

A robótica colaborativa representa uma evolução da automação industrial, em que robôs chamados cobots, são projetados para interagir e trabalhar lado a lado com seres humanos de forma segura e eficiente, ampliando a produtividade e a flexibilidade dos processos. No polo de robótica colaborativa de Odense, Dinamarca, essa sinergia entre empresas, universidades e centros de pesquisa cria um ambiente extremamente propício para o avanço da inovação. A proximidade com atores estratégicos do ecossistema favorece tanto o desenvolvimento de novas tecnologias quanto a validação ágil de soluções em contextos industriais. Esse cluster, além de impulsionar a inovação local, atrai profissionais qualificados e investimentos, estabelecendo uma rede robusta de suporte ao desenvolvimento contínuo das empresas, em especial no setor de robótica colaborativa (ODENSE ROBOTICS, 2024).

Desta forma, o objetivo deste artigo é explorar o impacto dos clusters de inovação dentro do ecossistema das empresas locais. Para isso, será realizada uma Revisão Sistemática de Literatura utilizando o Método PRISMA, com o objetivo de identificar, selecionar e analisar estudos relevantes sobre o tema. Exemplos como o Polo de Robótica de Odense, na Dinamarca, podem ser comparados a regiões mundialmente reconhecidas por sua inovação, como o Vale do Silício, nos Estados Unidos, e os diversos clusters de tecnologia em Israel, evidenciando como ecossistemas estratégicos fomentam o desenvolvimento

tecnológico, atraem investimentos e promovem a colaboração entre empresas, universidades e centros de pesquisa.

1.2 Robótica colaborativa

Dentro do contexto da transformação digital, o uso da robótica colaborativa ou cobots, desempenha um papel crucial na Indústria 4.0. Ao contrário dos robôs industriais tradicionais, a robótica colaborativa é projetada para trabalhar de forma segura ao lado de seres humanos, sem a necessidade de barreiras físicas, aumentando a produtividade sem comprometer a segurança. A robótica colaborativa oferece flexibilidade nas operações industriais, permitindo que as empresas adaptem seus processos rapidamente a diferentes tarefas e ambientes de produção (Hu, 2023).

Os impactos da robótica colaborativa são inúmeros, incluindo o aumento da produtividade por meio da automação de processos repetitivos, a melhoria da qualidade dos produtos através da precisão robótica e a criação de novas oportunidades de emprego em áreas como programação, manutenção e desenvolvimento de sistemas robóticos, além da integração com outras tecnologias emergentes como Internet das Coisas (IoT), big data e inteligência artificial (IA), possibilitando que as empresas possam otimizar ainda mais suas operações, elevando o nível de previsibilidade e controle de suas linhas de produção (ODENSE ROBOTICS, 2024).

2. Metodologia

A metodologia deste estudo foi estruturada em duas etapas principais, a primeira com a revisão da literatura sobre ecossistemas de inovação e cluster, além de conceitos de indústria 4.0 e robótica colaborativa, a segunda etapa com a visita in loco em Odense na Dinamarca, que resultou na participação em palestras e workshops com especialistas sobre os principais cases de aplicação de robótica colaborativa no ecossistema local.

Etapas 1: Pesquisa Bibliográfica

Consistiu em uma revisão da literatura sobre os temas específicos do artigo, realizada por meio de buscas em bases de dados acadêmicas, utilizando palavras-chave como “robótica colaborativa”, “cobots”, “indústria 4.0” e “cluster de inovação”. Para construir o portfólio de artigos que fundamenta o referencial teórico e a estrutura geral deste trabalho, foi adotada a metodologia PRISMA. Esse framework estabelece um conjunto de etapas que auxiliam no aprimoramento da busca e organização dos estudos, assegurando maior qualidade e rigor às publicações selecionadas como base da revisão sistemática. O PRISMA é composto por um fluxograma de quatro etapas Identificação, Triagem, Elegibilidade e Inclusão que garantem que a seleção e análise dos trabalhos sejam conduzidas de maneira criteriosa, reprodutível e confiável (PAGE et al., 2021). Após a definição dos critérios de classificação e seleção, procedeu-se à escolha das fontes de informação. Neste trabalho, foram utilizadas as bases acadêmicas SCOPUS e Web of Science, reconhecidas por sua abrangência e relevância em pesquisas científicas internacionais. Como resultado desse processo, foram selecionados 10 artigos que compõem o referencial teórico do estudo. Foram realizadas visitas técnicas, acompanhando diversos atores do ecossistema de robótica colaborativa de Odense Dinamarca, incluindo indústrias de fabricação de robótica colaborativas, centros de pesquisa, universidades e escolas. Durante as visitas, foi possível observar como o ecossistema local trabalha de forma integrada gerando inovação em diversos setores da sociedade. As visitas também evidenciaram o impacto positivo de tais

iniciativas que permeiam todo o ecossistema, demonstrando como a integração entre academia e indústria acelera a adoção de novas tecnologias.

3. Resultados

3.1 Resultados teóricos (Etapa 1)

Cluster de Inovação: Conceito e Impacto no Desenvolvimento Tecnológico

Os clusters de inovação desempenham um papel fundamental no desenvolvimento tecnológico e no crescimento econômico, reunindo empresas, universidades, institutos de pesquisa e outros atores em um mesmo ambiente geográfico. Esses clusters favorecem a colaboração, a troca de conhecimento e o desenvolvimento de novas tecnologias, criando condições para promover a inovação e a competitividade das indústrias que se conectam nesse tipo de cenário (CUKIERMAN; ROUACH, 2019).

Diferença entre Clusters e Hubs de Inovação

Enquanto os clusters de inovação são agrupamentos geograficamente concentrados de empresas, instituições e organizações de um determinado setor que colaboram para o desenvolvimento tecnológico, os hubs funcionam como centros de conexão e fomento ao empreendedorismo. Nos hubs, startups e empresas emergentes encontram apoio, networking e serviços para impulsionar suas inovações, mas sem o mesmo grau de especialização ou colaboração setorial que os clusters oferecem. Os clusters, por sua vez, possuem uma abordagem mais focada no desenvolvimento de inovações dentro de um setor específico, beneficiando-se da proximidade física e da sinergia entre seus membros (CUKIERMAN; ROUACH, 2019).

Cluster de Robótica de Odense: Inovação em Automação e Drones

Um exemplo notável de cluster de inovação é o Odense Robotics, localizado em Odense, na Dinamarca. Este é o cluster nacional de robótica, automação e tecnologia de drones do país, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento de soluções tecnológicas para diferentes setores. O objetivo do cluster é melhorar o mundo por meio de soluções robóticas desenvolvidas por empresas dinamarquesas, promovendo o crescimento e a visibilidade dessas empresas, além de fomentar a colaboração entre elas (ODENSE ROBOTICS, 2024). O Odense Robotics tem hubs em diversas regiões da Dinamarca, como Jutlândia do Norte, Jutlândia Central, Zelândia e Jutlândia do Sul, com sua sede localizada em Odense, na ilha de Funen. Este cluster reúne mais de 350 membros, incluindo empresas de robótica e automação, universidades e centros de pesquisa. O setor gera cerca de DKK 27,5 bilhões em receita anual e emprega aproximadamente 18.500 pessoas. Desde 2015, as empresas do cluster receberam mais de EUR 1 bilhão em investimentos, evidenciando o forte crescimento do setor (ODENSE ROBOTICS, 2024).

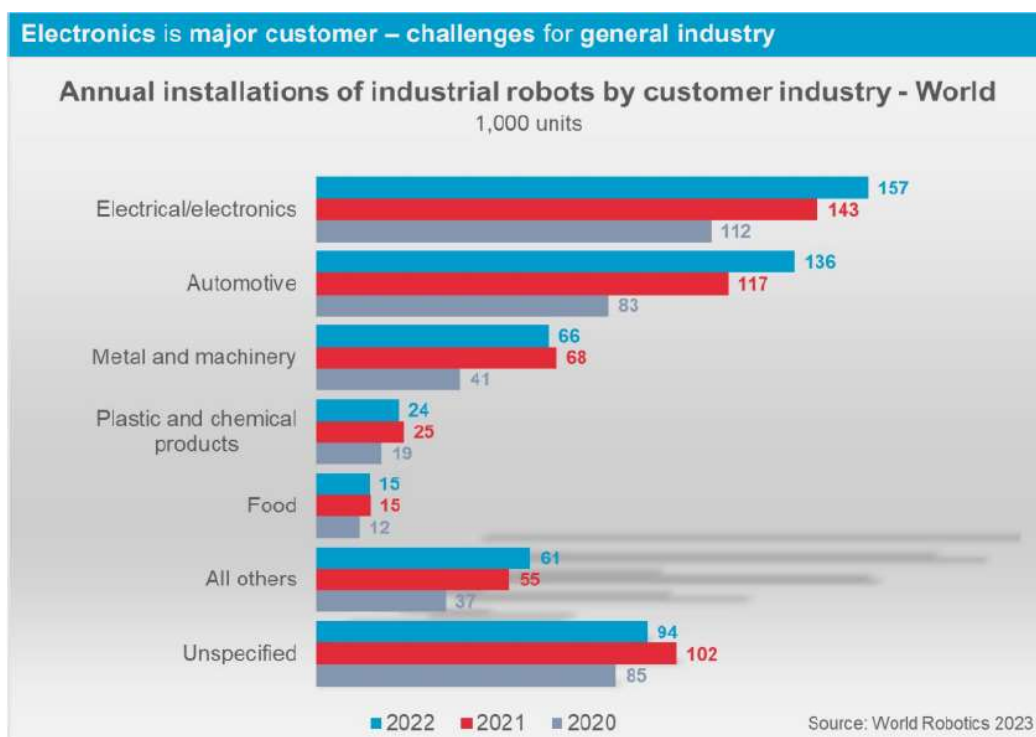
Dados indicam que 40% das empresas do cluster desenvolvem novas tecnologias, e 87% delas colaboram com outras empresas do setor. Além disso, 77% das empresas estão focadas em oferecer soluções para a transição verde, contribuindo para uma economia mais sustentável. Essa colaboração intensa e o foco em inovações para a sustentabilidade são marcas registradas do cluster.

Robótica colaborativa

O conceito de robótica colaborativa surgiu na década de 1990, impulsionado pelos avanços realizados por instituições como o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) e o Centro Aeroespacial Alemão (DLR). Essas instituições foram pioneiras no desenvolvimento dos primeiros robôs colaborativos, que tinham como objetivo permitir uma interação mais segura e eficiente entre robôs e humanos. O lançamento dos robôs leves UR da Universal Robots A/S marcou o início do desenvolvimento comercial dessa tecnologia, permitindo sua ampla adoção no setor industrial (Hu, 2023).

Os cobots, ou robôs colaborativos, são projetados para trabalhar ao lado de humanos em espaços de trabalho abertos. Diferentemente dos robôs industriais convencionais, que operam em ambientes isolados e restritos, os cobots requerem mecanismos de segurança avançados para proteger os trabalhadores, especialmente em ambientes de fabricação onde o manuseio de cargas pesadas pode representar risco de lesão em caso de contato direto. Esses mecanismos de segurança tornam-se essenciais para garantir a integridade física dos operadores e a eficiência das operações colaborativas (Cohen et al., 2021).

Figura 01 – Principais segmentos da robótica no mundo



Fonte – World Robotics - Industrial Robots 2023

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

As tecnologias habilitadoras consistem em um conjunto de inovações tecnológicas que, quando aplicadas de forma isolada ou em combinação, podem impulsionar a transformação digital, revolucionando processos e possibilitando a criação de novos modelos de negócios.

No contexto da Indústria 4.0, essas tecnologias têm o potencial de elevar significativamente o desempenho das operações industriais, permitindo uma gestão mais eficiente. Além disso, quando associadas à robótica colaborativa, essas tecnologias se destacam por aprimorar a eficiência dos processos industriais. A Tabela 01 apresenta algumas das principais tecnologias habilitadoras.

Tabela 01 – Definição das principais tecnologias habilitadoras

Tecnologia	Descrição	Referência
Internet das Coisas (IoT)	Rede de dispositivos físicos interconectados que coletam e compartilham dados em tempo real. Essencial para integrar sensores, máquinas e sistemas em fábricas inteligentes, com potencial ampliado pelo 5G.	RAHMAN et al., 2024
Big Data e Análise de Dados	Coleta, armazenamento e análise de grandes volumes de dados para otimização de processos e previsão de cenários. Permite manutenção preditiva e, integrado à IA, otimiza trajetórias de cobots.	CSERVENÁK; HUSÁR, 2024; RAHMAN et al., 2024
Inteligência Artificial (IA) e Machine Learning	Algoritmos que simulam a inteligência humana, permitindo decisões autônomas e otimização em tempo real. Aplicada no planejamento de trajetórias de cobots, manutenção preditiva e robôs móveis autônomos (AMRs).	RAHMAN et al., 2024; CSERVENÁK; HUSÁR, 2024
Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR)	Criam ambientes virtuais imersivos ou sobrepõem informações digitais ao mundo real. Aplicadas em treinamento, planejamento e simulação de trajetórias de cobots e cenários produtivos.	CICCARELLI et al., 2024; CSERVENÁK; HUSÁR, 2024

Computação em Nuvem	Armazenamento e processamento de dados em servidores remotos, possibilitando análises centralizadas, escalabilidade e acesso remoto a sistemas de manufatura inteligente.	RAHMAN et al., 2024
---------------------	---	---------------------

Fonte – Autoria própria (2025)

3.2 Resultados Práticos (Etapa 2)

O Cluster de Inovação em Robótica de Odense e ecossistemas de inovação espalhados pelo mundo têm se destacado por seu impacto positivo em empresas locais, especialmente no que diz respeito à eficiência produtiva, redução de custos operacionais, otimização de processos e aumento da competitividade (ODENSE ROBOTICS, 2024). Esses polos de inovação promovem uma intensa colaboração entre empresas, universidades e centros de pesquisa, proporcionando um ambiente fértil para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias habilitadoras, como a robótica colaborativa, Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), e Big Data.

Empresas inseridas nesses ecossistemas tendem a adotar tecnologias de ponta de forma mais rápida e eficaz, resultando em ganhos de produtividade e inovação. Por exemplo, a robótica colaborativa aplicada a processos produtivos complexos permite uma interação segura e eficiente entre máquinas e operadores, o que reduz a necessidade de isolamento dos robôs e aumenta a flexibilidade no chão de fábrica. Além disso, a análise de dados e o uso de inteligência artificial facilitam o monitoramento em tempo real dos equipamentos, permitindo uma manutenção preditiva que diminui os tempos de inatividade e aumenta a vida útil dos ativos (ČREŠNAR; POTOČAN; NEDELKO, 2020).

A presença de clusters de inovação cria um ecossistema onde empresas de diferentes portes podem experimentar, adaptar e escalar tecnologias, oferecendo oportunidades de crescimento e resiliência industrial. O desenvolvimento de tecnologias aplicáveis a desafios específicos, com o suporte técnico e científico de instituições locais, proporciona às empresas uma base sólida para explorar novos modelos de negócios e expandir suas capacidades operacionais.

Esses impactos resultam da adoção de tecnologias habilitadoras em ambientes industriais, potencializados por investimentos em capacitação, pesquisa e infraestrutura. A aplicação dessas ferramentas não apenas promove ganhos de eficiência e redução de custos, mas também fortalece a segurança no trabalho, impulsiona a inovação de processos e contribui para práticas mais sustentáveis. A Tabela a seguir sintetiza as principais melhorias observadas, relacionando as tecnologias utilizadas e os resultados alcançados.

Tabela 02 - Impactos da Utilização de Tecnologias Habilitadoras

Melhoria	Tecnologia Utilizada	Principais Resultados Obtidos
Aumento da produtividade	Robótica colaborativa, IoT	Redução de tempo ocioso e maior flexibilidade no chão de fábrica
Redução de custos operacionais	Big Data, IA	Análise preditiva e otimização de recursos, resultando em menor custo

Melhoria na segurança do trabalho	Robôs colaborativos com sensores avançados	Minimização de acidentes e maior interação segura entre humanos e máquinas
Otimização da manutenção	IoT, IA, Computação em Nuvem	Manutenção preditiva com menor tempo de inatividade e redução de falhas
Inovação de processos	Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR)	Melhor treinamento de operadores e simulação de processos complexos
Expansão da capacidade produtiva	Automação e robótica integrada	Aumento da produção com menor tempo de setup e mais eficiência operacional
Sustentabilidade	IA e Análise de Dados	Redução de desperdícios e uso eficiente de energia e materiais

Fonte – Autoria própria (2025)

4. Conclusões

A análise apresentada neste artigo cumpriu seu objetivo, que era explorar o impacto dos clusters de inovação dentro do ecossistema das empresas locais, como demonstrado na Seção 3. A investigação de campo, incluindo visitas aos centros de pesquisa e inovação em Odense, Dinamarca, permitiu observar diretamente a dinâmica de colaboração entre empresas, instituições de ensino e centros de pesquisa, evidenciando o papel dos robôs colaborativos (cobots) e de outras tecnologias habilitadoras na otimização de processos industriais e na transformação digital. Nos laboratórios e fábricas de cobots, foi possível acompanhar a implementação prática de soluções tecnológicas que promovem integração eficiente entre trabalhadores e robôs, aumentando produtividade e precisão sem comprometer a segurança.

Essas observações reforçam as conclusões teóricas apresentadas ao longo do artigo, confirmando que ecossistemas de inovação, como o de Odense, criam um ambiente altamente propício para o desenvolvimento e adoção de tecnologias avançadas. A experiência prática demonstrou a sinergia entre pesquisa aplicada e demandas industriais, evidenciando que clusters de inovação são essenciais para a transformação digital da indústria e para a promoção de colaboração eficaz entre empresas, centros de pesquisa e setor público.

Por fim, conclui-se que a replicação de modelos de sucesso, como o de Odense, pode beneficiar indústrias em diferentes regiões do mundo, adaptando-se às especificidades locais e aproveitando as oportunidades de parcerias estratégicas entre setores público e privado. A transformação impulsionada pela robótica colaborativa e por outras tecnologias habilitadoras fortalece não apenas a produtividade e eficiência, mas também gera impactos econômicos e sociais de longo prazo, consolidando a Indústria 4.0 como vetor de desenvolvimento sustentável e de fortalecimento da economia local.

Agradecimento

Este artigo teve especial contribuição do Centro Internacional de Tecnologia de Software (CITS), que viabilizou a realização da viagem para o estudo em campo, e da Universal

Robots (UR), que proporcionou a oportunidade de conhecer os principais atores do ecossistema de robótica em Odense. A experiência direta com esse ambiente inovador foi essencial para a construção e conclusões aqui apresentados, enriquecendo significativamente a compreensão sobre o impacto da robótica colaborativa e das tecnologias de apoio na Indústria 4.0.

Referências

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

CUKIERMAN, Édouard; ROUACH, Daniel; PAGANI, Regina Negri (Trad.). O vale de Israel: O escudo tecnológico da inovação. Capa comum. 4. ed. São Paulo: Editora Nova Fronteira, 2019.

HU, M. Pesquisa sobre design de segurança e otimização de robôs colaborativos. *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*, v. 7, p. 795–809, 2023.

COHEN, Y.; SHOVAL, S.; FACCIO, M.; MINTO, R. Implantação de cobots em sistemas colaborativos: principais considerações e análise de produtividade. *International Journal of Production Research*, v. 60, n. 6, p. 1815–1831, 2021.

IFRC. International Federation of Robotics. Disponível em: <https://ifr.org/>. Acesso em: 10 ago. 2024.

Črešnar, R.; Potočan, V.; Nedelko, Z. Speeding up the Implementation of Industry 4.0 with Management Tools: Empirical Investigations in Manufacturing Organizations. *Sensors*, 2020, 20, 3469.

UNIVERSAL ROBOTS. Universal Robots. Disponível em: <https://www.universal-robots.com/>. Acesso em: 10 ago. 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.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, London, v. 372, n. 71, p. 1-9, 2021.

RAHMAN, M. M.; KHATUN, F.; JAHAN, I.; DEVNATH, R.; BHUIYAN, M. A. **Cobotics: the evolving roles and prospects of next-generation collaborative robots in Industry 5.0.** *Journal of Robotics*, [S.l.], v. 2024, 2024. DOI: 10.1155/2024/2918089.

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.

CICCARELLI, M.; FORLINI, M.; PAPETTI, A.; PALMIERI, G.; GERMANI, M. **Advancing human-robot collaboration in handcrafted manufacturing: cobot-assisted polishing design boosted by virtual reality and human-in-the-loop**. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, [S.l.], v. 132, n. 9-10, p. 4489-4504, 2024. DOI: 10.1007/s00170-024-13639-z.