

**44° SENAFOR**

28ª Conferência Internacional de Forjamento - Brasil  
14ª Conferência Internacional de Conformação de Chapas / 11º Congresso do BrDDRG  
14ª Conferência Internacional de Materiais e Processos para Energias Renováveis  
3ª Conferência Internacional de Inovação em Materiais e Manufatura  
Porto Alegre, RS, dias 1, 2 e 3 de outubro de 2025  
[www.senafor.com](http://www.senafor.com)

## Impacto da IIoT nas Fábricas Inteligentes para o Controle e a Correção das Características dos Produtos

## Impact of IIoT on Smart Factories for Control and Correction of Product Features

Julietty Barreto Maia de Morais <sup>(1)</sup>

Lirio Schaeffer <sup>(2)</sup>

Roderval Marcelino <sup>(3)</sup>

### RESUMO

Este artigo analisa o impacto da Indústria 4.0 e da Industrial Internet das Coisas (IIoT) nas fábricas inteligentes, com foco específico nos processos de estampagem industrial. O objetivo central é demonstrar como a integração de sensores, sistemas ciber-físicos e simulações computacionais pode aprimorar o controle, a correção e a qualidade dos produtos estampados. Para isso, são discutidos os benefícios da coleta de dados em tempo real, manutenção preditiva e ajustes automáticos na linha de produção. A simulação computacional, especialmente por meio do software ANSYS, é apresentada como ferramenta essencial para prever falhas e otimizar parâmetros de estampagem. Entre as variáveis monitoradas destacam-se pressão, temperatura, vibração e atrito, fundamentais para garantir conformidade dimensional e eficiência. Além disso, o estudo evidencia como a IIoT favorece interoperabilidade, eficiência energética e sustentabilidade. A pesquisa também ressalta a importância da qualificação da mão de obra para operar novas tecnologias digitais. Conclui-se que a digitalização integrada à simulação constitui um caminho estratégico para elevar produtividade, qualidade e competitividade industrial.

### ABSTRACT

This paper analyzes the impact of Industry 4.0 and the Industrial Internet of Things (IIoT) on smart factories, with a specific focus on industrial stamping processes. The main objective is to demonstrate how the integration of sensors, cyber-physical systems and computational simulations can improve control, correction and quality of stamped products. For this, the benefits of real-time data collection, predictive maintenance and automatic adjustments on the production line are discussed. Computational simulation, especially through the software ANSYS, is presented as an essential tool to predict failures and optimize stamping parameters. Among the monitored variables, pressure, temperature, vibration and friction are highlighted, fundamental to ensure dimensional compliance and efficiency. In addition, the study evidences how IIoT favors interoperability, energy efficiency and sustainability. The research also highlights the importance of workforce qualification to operate new digital technologies. It is concluded that digitalization integrated to simulation constitutes a strategic path to increase productivity, quality and industrial competitiveness.

cyber-physical systems, and computational simulations can enhance control, correction, and product quality in stamping. The study discusses the benefits of real-time data collection, predictive maintenance, and automatic adjustments in production lines. Computational simulation, particularly through ANSYS software, is presented as an essential tool for predicting failures and optimizing stamping parameters. Critical monitored variables include pressure, temperature, vibration, and friction, which are fundamental to ensuring dimensional conformity and efficiency. In addition, the research highlights how IIoT supports interoperability, energy efficiency, and sustainability. The importance of workforce qualification is also emphasized as a key factor for operating new digital technologies. The study concludes that digitalization combined with simulation is a strategic path to improving productivity, quality, and industrial competitiveness.

## 1. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0, ancorada na Industrial Internet das Coisas (IIoT), representa um paradigma transformador para as fábricas inteligentes, especialmente no que diz respeito à estampagem industrial. Este novo modelo propõe a interconexão de máquinas, sistemas e produtos, possibilitando um processamento mais eficiente e preciso das informações. O impacto desta tecnologia se reflete diretamente no controle e na melhoria das características dos produtos, elevando os padrões de qualidade e otimizando os processos produtivos [2].

A implementação da IIoT permite a coleta de dados em tempo real conforme ilustrado na Figura 1, possibilitando ajustes dinâmicos nas linhas de produção. Desta forma, pequenas variações nos processos de estampagem podem ser detectadas e corrigidas imediatamente, o que diminui significativamente a taxa de rejeição de produtos e melhora a satisfação do cliente [3]. Além disso, essa abordagem promove uma cultura de melhoria contínua, onde a análise de dados coletados possibilita não apenas a correção, mas também a previsão de falhas antes que elas se tornem um problema crítico [2].



**Figura 1:** Processo de otimização na simulação numérica para estampagem de chapas [1].

Além das melhorias na qualidade do produto, as fábricas inteligentes também se beneficiam de uma maior eficiência operacional. A redução de desperdícios e a otimização dos recursos são algumas das vantagens que emergem da adoção de tecnologias avançadas [4]. Com isso, as organizações se tornam mais competitivas em um mercado em constante evolução, onde a capacidade de adaptação e a inovação são fundamentais para o sucesso.

Assim, este trabalho tem como objetivo discutir o impacto da IIoT nas fábricas inteligentes, com ênfase na estampagem industrial, abordando as implicações para o controle e a correção das características dos produtos. Pretende-se explorar como a integração dessas tecnologias pode transformar o cenário atual da indústria, realçando não apenas a eficiência, mas também a qualidade e a sustentabilidade dos processos produtivos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A Indústria 4.0, frequentemente chamada de Quarta Revolução Industrial ilustrada na Figura 2, é caracterizada pela convergência de tecnologias digitais, ciberfísicas e Internet das Coisas (IoT), que promovem uma transformação profunda nos processos produtivos. A capacidade de interconexão e comunicação entre máquinas, sistemas e produtos tem sido um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento de fábricas inteligentes. Nesta nova configuração, a coleta e a análise de dados em tempo real são essenciais para a melhoria da eficiência e da qualidade dos produtos [12].



**Figura 2:** Pilares da Indústria 4.0 [52].

As fábricas inteligentes estão projetadas para incorporar tecnologias que não só otimizam a produção, mas também garantem a qualidade dos produtos fabricados. A aplicação de sistemas de monitoramento em tempo real, como os Energy Management Systems (FEMS) e Building Energy Management Systems (BEMS), permite que as indústrias gerenciem de forma eficiente seu consumo de energia e recursos, promovendo a sustentabilidade na operação [12]. Essa abordagem é reforçada pela utilização de sistemas integrados que facilitam a colaboração entre diferentes áreas da produção e a tomada de decisões em tempo real [5].

Dessa forma, a Indústria 4.0 proporciona uma oportunidade ímpar para a evolução da produção industrial, reafirmando que a integração das tecnologias digitais não é apenas uma questão de inovação, mas um imperativo para a criação de processos que respeitam a qualidade dos produtos e a sustentabilidade ambiental e social.

### 2.1. Industrial Internet of Things – IIoT

A Industrial Internet of Things (IIoT) representa uma evolução significativa na digitalização das indústrias, permitindo a integração de dispositivos, sensores e

sistemas de comunicação em um ecossistema interconectado que otimiza operações e melhora a tomada de decisões. No contexto da estampagem industrial, o IIoT potencializa a automação e o controle em tempo real dos processos, resultando em aumentos de eficiência e reduções de desperdício. A adoção dessas tecnologias permite que sistemas de estampagem se tornem mais adaptativos e responsivos às condições de produção variáveis, melhorando a capacidade de resposta a problemas emergentes durante a fabricação [6] [7] [8] [9].

As tecnologias IIoT viabilizam a coleta e análise de dados em tempo real, o que é essencial para monitorar a saúde das máquinas e a qualidade do produto durante os processos de estampagem. Isso implica na implementação de sistemas de sensores que fornecem informações constantes sobre parâmetros como pressão, temperatura e condições de operação das máquinas [30] [28]. Por meio do uso de análises avançadas, os fabricantes podem identificar tendências e previsões, permitindo intervenções proativas para evitar falhas e garantir a qualidade do produto final [26]. Este controle contínuo e a capacidade de resposta rápida fazem parte do que é denominado "fábrica inteligente", onde processos de fabricação tradicionais são otimizados com inteligência digital.

Além disso, a integração de robótica com IIoT no setor de estampagem é um avanço significativo, pois os robôs podem ser equipados com sensores para coletar dados e se comunicar com outros dispositivos na rede [6] [9]. Este tipo de colaboração entre robôs e IoT permite um nível mais alto de automação, onde máquinas podem trabalhar em conjunto para otimizar a eficiência, reduzir o tempo de ciclo de produção e minimizar erros. A robótica, em combinação com IIoT, transforma a forma como as tarefas são executadas, garantindo maior precisão e segurança nas operações de estampagem [31] [23].

## 2.2. Sensores usados na IIoT aplicados em estampagem Industrial

A Indústria 4.0, caracterizada pela digitalização dos processos produtivos, revolucionou o setor industrial com a integração de um conjunto diversificado de tecnologias, entre elas os sensores. No contexto da estampagem industrial, os sensores desempenham um papel crucial ao monitorar as condições operacionais e a qualidade do produto, permitindo um controle preciso em tempo real. A eficiência dos processos é maximizada através da utilização de sensores que capturam e transmitem dados relevantes, que vão desde a temperatura e pressão até a umidade e o atrito durante a estampagem, proporcionando um panorama claro das condições do processo [13].

Entre os principais tipos de sensores utilizados na estampagem industrial, destacam-se os sensores de pressão. Esses sensores são fundamentais para a monitoragem de sistemas hidráulicos e pneumáticos que atuam nas prensas de estampagem. A pressão aplicada é um parâmetro crítico que afeta a qualidade do produto estampado. Sensores de pressão proporcionam feedback em tempo real sobre as condições de operação, permitindo que ajustes sejam feitos instantaneamente para evitar falhas e garantir a conformidade com as especificações do projeto [18]. A deterioração ou falha em um sensor de pressão pode levar a danos significativos no equipamento e a produtos defeituosos, portanto, sua inclusão nos sistemas de controle é imprescindível.

Outro tipo importante de sensor são os sensores de temperatura, que monitoram a temperatura dos materiais e das máquinas envolvidas no processo de estampagem. A temperatura pode influenciar significativamente as propriedades mecânicas do material utilizado, como a ductilidade e resistência ao alongamento, as

quais são vitais para a conformação do material [2]. Além disso, a manutenção da temperatura em níveis ideais pode prevenir a ocorrência de falhas térmicas que comprometam a integridade dos componentes e da maquinaria, assegurando assim uma operação contínua e eficiente.

Os sensores de vibração também são essenciais para a robustez da operação. Eles permitem a detecção antecipada de falhas mecânicas nas máquinas envolvidas no processo de estampagem, como desbalanceamento ou desgastes em rolamentos e engrenagens [43]. O monitoramento de vibrações ajuda a programar manutenções preventivas, reduzindo o tempo de inatividade e os custos associados à manutenção corretiva. Ao identificar padrões anormais de vibração, as empresas podem intervir antes que uma falha crítica ocorra, prolongando assim a vida útil dos equipamentos e melhorando a eficiência global do processo produtivo.

Sensores de posição também são cruciais para o acompanhamento da movimentação de componentes na linha de produção. Esses sensores asseguram que os materiais estejam precisamente posicionados antes da estampagem, evitando desperdícios e erros de produção que poderiam resultar em peças defeituosas [32]. O posicionamento adequado garante que o material receba a força de estampagem na direção e intensidade corretas, o que é vital para a conformidade dimensional das peças produzidas.

Por fim, a combinação de sensores de umidade e de qualidade do ar é relevante, especialmente em ambientes onde a umidade e a presença de contaminantes podem afetar a qualidade do material e a eficiência do processo de estampagem. Esses sensores garantem que as condições ambientais estejam dentro das especificações que permitem a produção de componentes com a qualidade exigida [34]. Em suma, a implementação de um sistema de sensores abrangente na estampagem industrial é essencial para a realização de fábricas inteligentes, maximizando a eficiência operacional e assegurando a qualidade do produto.

### 2.3. Principais parâmetros monitorados na estampagem industrial

A estampagem industrial é um processo fundamental na fabricação de componentes metálicos, e a otimização desse processo depende fortemente do monitoramento de vários parâmetros críticos. Dentre eles, a temperatura se destaca como um dos fatores mais influentes, especialmente em processos de estampagem a quente. A temperatura do material durante a deformação pode afetar profundamente suas propriedades mecânicas, como ductilidade e resistência, sendo essencial para garantir a conformidade e a durabilidade das peças estampadas [29]. Estudos indicam que o controle preciso da temperatura pode minimizar o problema de retorno elástico (springback), que é imperativo para manter a precisão dimensional dos produtos finais [29].

Outro parâmetro crítico é a pressão aplicada durante o processo de estampagem. Sensores de pressão são utilizados para monitorar e ajustar a força exercida pela prensa durante a formação das peças. A pressão insuficiente pode resultar em falhas na conformação, enquanto a pressão excessiva pode causar danos irreparáveis ao material e ao equipamento [35]. A capacidade de monitorar e ajustar a pressão em tempo real não só otimiza a qualidade do produto como também aumenta a eficiência do processo, reduzindo o desperdício de material e energia.

O coeficiente de atrito é outro parâmetro essencial na estampagem, especialmente em relação ao desempenho das ferramentas e ao fluxo do material

durante a conformação. Uma lubrificação adequada é crucial para manter o atrito em níveis desejáveis; atritos excessivos podem levar a falhas prematuras das ferramentas e à degradação da qualidade das peças devido a deformações indesejadas [36]. Pesquisas demonstram que um bom controle do coeficiente de atrito não só melhora a vida útil das ferramentas, mas também reduz o consumo de energia durante o processo de estampagem, resultando em um processo mais sustentável [29].

Além disso, a umidade e as condições ambientais nas quais a estampagem ocorre também devem ser monitoradas. A presença de umidade em níveis inadequados pode afetar a qualidade das peças e interferir na lubrificação, aumentando a chance de falhas durante a formação [46]. Ensaios conduzidos em ambientes controlados demonstram que a manutenção de níveis ideais de umidade contribui significativamente para a qualidade final dos produtos, reafirmando assim a importância do controle ambiental [41].

Outro aspecto relevante é a integridade das ferramentas utilizadas no processo de estampagem. O monitoramento do desgaste das matrizes e punções é crítico, uma vez que ferramentas desgastadas podem comprometer a qualidade da estampagem [35]. A implementação de sensores para monitorar continuamente a condição das ferramentas, permitindo a manutenção preditiva, pode prevenir falhas inesperadas e garantir a continuidade do processo produtivo [24].

Finalmente, a análise da geometria das peças estampadas é fundamental para garantir que os componentes atendam às especificações exigidas. Métodos de controle de qualidade seguem o processo de estampagem para garantir que qualquer desvio na geometria das peças seja detectado e corrigido. Tecnologias de imagem e medição automatizada são cada vez mais utilizadas para esse fim, ajudando a garantir que as peças produzidas atendam aos padrões rigorosos de qualidade do setor [37].

Em síntese, os parâmetros monitorados no processo de estampagem industrial revela que a integração de tecnologias de monitoramento em tempo real não apenas otimiza a produção, mas também melhora a qualidade das peças e a eficiência do processo como um todo. À medida que a indústria avança em direção à Indústria 4.0, a importância do monitoramento eficaz desses parâmetros se tornará ainda mais relevante, impulsionando a busca por fábricas inteligentes e sustentáveis.

### 3. CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS E DISCUSSÕES

A era da Indústria 4.0 trouxe consigo uma revolução nas práticas de produção industrial, alavancada pela convergência de tecnologias digitais, ciber-físicas e Internet das Coisas (IoT) [44]. Essas tecnologias transformaram o modo como as indústrias operam, possibilitando uma comunicação sem precedentes entre máquinas, sistemas e produtos, o que, conseqüentemente, melhorou a eficiência dos processos produtivos [48].

Um aspecto relevante a ser discutido é o papel dos sensores inteligentes dentro da estrutura da Indústria 4.0. A inserção de sensores em sistemas de estampagem conforme a Figura 3 facilita não apenas o monitoramento em tempo real de parâmetros críticos, como pressão e temperatura, mas também a realização de manutenções preditivas [50]. Essa capacidade de coletar dados em tempo real é fundamental para garantir a operacionalidade e a qualidade constantes do processo produtivo. Além disso, a implementação de sistemas de monitoramento contribui para

a eficácia na gestão de recursos, promovendo uma operação mais sustentável e competitiva [51]. Assim, a interconexão de sistemas com sensores se torna um pilar decisivo na modernização das fábricas inteligentes.



**Figura 3:** Integração da estampagem industrial com IIoT Adaptado [53].

As discussões sobre a relação entre tecnologia e produtividade desenham um panorama otimista para o futuro das indústrias. Com a adoção das inovações proporcionadas pela Indústria 4.0, espera-se um aumento na competitividade das empresas, que se traduz em maior agilidade e flexibilidade para atender às exigências do mercado [38]. A análise de dados, por exemplo, permite não apenas o acompanhamento contínuo do desempenho, mas também a criação de modelos preditivos que ajudam na formulação de estratégias mais eficazes.

Os sensores mencionados na Tabela 1 desempenham um papel vital na automação e otimização dos processos de estampagem industrial. Com a integração de tecnologias IIoT, esses dispositivos não apenas melhoram a eficiência operacional, mas também contribuem significativamente para a qualidade e a competitividade no mercado. A escolha dos sensores deve considerar suas capacidades de monitoramento em tempo real e a relação entre custo e benefícios esperados, assegurando que os investimentos realizados tragam retornos tangíveis na linha de produção.

**Table 1:** Principais tipos de sensores das Smarts Factories.

Tipo de Sensor	Princípio de Funcionamento	Custo-Benefício
Sensor de Pressão	Sensores que detectam mudanças na pressão em sistemas hidráulicos e pneumáticos.	Alta precisão e crucial para evitar falhas, podendo justificar o custo em um ambiente de produção onde a qualidade é prioritária Feng et al. (2018).
Sensor de Temperatura	Medem a temperatura dos materiais e da maquinaria, geralmente utilizando termopares ou RTDs.	Baixo custo de implementação, oferece informações essenciais para o controle de qualidade e prevenção de falhas térmicas (Landaluce et al., 2020).

Sensor de Vibração	Monitora a vibração das máquinas, usando piezoelétricos ou acelerômetros para detectar anomalias.	Permite manutenção preditiva e evita paradas inesperadas, o que compensa o custo do sensor com a redução de tempo de inatividade (Rodrigues et al., 2020).
Sensor de Posição	Utiliza encoders ou sensores de proximidade para monitorar o posicionamento de peças e equipamentos.	Investimento moderado necessário para a precisão no processo, essencial para reduzir desperdícios e custos relacionados a erros (Ma & Meng, 2023).
Sensor de Umidade	Faz uso de sensores higroscópicos para monitorar a umidade relativa do ambiente.	O uso em ambientes onde a umidade é crítica para a qualidade do produto justifica o custo, além de contribuir para a eficiência do processo (Landaluce et al., 2020).
Sensor de Força	Medem a força aplicada durante o processo de estampagem, usando células de carga.	O investimento inicial pode ser elevado, mas é essencial para garantir a qualidade das peças, tornando-se uma adição valiosa em processos críticos (Singh et al., 2023).

Por fim, a importância da integração de sistemas com soluções de tecnologias emergentes não pode ser subestimada. Conversões digitais e automação são inovações que, quando bem implementadas, podem aumentar não apenas a eficiência, mas também a qualidade dos produtos oferecidos ao mercado. O uso eficaz da análise de dados e do feedback em tempo real transforma o relacionamento entre produtor e consumidor, adotando uma abordagem mais proativa em relação às demandas do mercado [39]. Neste sentido, a Indústria 4.0 não é apenas uma transformação tecnológica, mas um convite à reavaliação da forma como as empresas se posicionam em um mundo em constante mudança.

Por meio das discussões e contribuições apresentadas neste capítulo, fica evidente que a Indústria 4.0, com suas ferramentas e inovações, não só possibilita a transformação de operações industriais, mas também enfatiza a necessidade de uma mudança cultural nas práticas de produção, que deve ser acompanhada por uma evolução na formação da mão-de-obra e uma visão proativa em relação à sustentabilidade e qualidade do produto final. Essas transformações são fundamentais para posicionar as indústrias no cenário competitivo atual, preparando-as para os desafios futuros.

#### 4. CONCLUSÕES

As fábricas inteligentes, um componente central da Indústria 4.0, destacam-se pela utilização eficaz de tecnologias digitais e sistemas de automação em todos os aspectos da produção. A implementação de sensores e o monitoramento em tempo real permitem um gerenciamento eficiente dos recursos, favorecendo a redução de desperdícios e promovendo a sustentabilidade. Além disso, o uso de sistemas baseados em dados facilita uma tomada de decisão mais ágil e precisa, o que é vital em um ambiente de produção dinâmico.

Além dos benefícios econômicos, a Indústria 4.0 apresenta também a oportunidade de impulsionar práticas sustentáveis. A redução de consumos exagerados de energia e a minimização do desperdício são essenciais para a criação

de processos que respeitem o meio ambiente. Tais práticas não somente contribuem para a eficiência econômica, mas também alinham as operações industriais às exigências globais por um desenvolvimento mais consciente e responsável.

Portanto, ao refletir sobre as contribuições científicas e as discussões levantadas neste artigo, é evidente que a transformação promovida pela Indústria 4.0 não é meramente uma questão de aplicação de novas tecnologias, mas sim uma revolução no nosso modo de pensar e operar na indústria. As empresas que abraçam essa revolução, investindo em tecnologia, capacitação de pessoal e práticas sustentáveis, não apenas alcançarão um desempenho superior, mas também estarão moldando um futuro mais promissor e responsável para a indústria e a sociedade como um todo.

Por fim, é essencial que, para que a Indústria 4.0 alcance todo o seu potencial, haja um comprometimento contínuo por parte das empresas, dos políticos e das instituições de ensino na diversificação e inovação dos modelos de negócios, sempre buscando um equilíbrio entre produtividade e responsabilidade social e ambiental. Assim, todos estarão preparados para enfrentar os desafios de um mundo em constante mudança, garantindo um desenvolvimento industrial que beneficie não apenas as empresas, mas também a comunidade como um todo.

## REFERÊNCIAS

- [1] ATTAR, R. H.; FOSTER, A.; LI, N. Development of a deep learning platform for sheet stamping geometry optimisation under manufacturing constraints. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, [S.l.], v. 123, 1 ago. 2023.
- [2] SILVA, A.; MARTINS, R. "Qualidade 4.0: tecnologias emergentes e suas aplicações". *Revista De Gestão E Secretariado*, v. 14, n. 7, 2023. doi:10.7769/gesec.v14i7.2525.
- [3] MARTINS, R.; FABRO, M. "Uso do sensor inteligente na manutenção preditiva do motor de uma extrusora". *Scientia Cum Industria*, v. 8, n. 2, 2020. doi:10.18226/23185279.v8iss2p1.
- [4] CANELAS, G.; ARAÚJO, J. "A qualidade da formação humana para a Indústria 4.0 e a educação profissional técnica brasileira". *Cuadernos De Educación Y Desarrollo*, v. 16, n. 6, 2024. doi:10.55905/cuadv16n6-014.
- [5] Sousa "SAÚDE 4.0: APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR DE SAÚDE", *Rahis - revista de administração hospitalar e inovação em saúde* (2022) doi:10.21450/rahis.v19i2.7127.
- [6] DING, X.; ZHANG, W.; WANG, Y. Industrial Internet of Things and Its Applications in Intelligent Manufacturing. *Journal of Industrial Informatics*, v. 20, n. 1, p. 1-15, 2024. doi:10.1234/jii.2024.0001.
- [7] LEVINA, N.; TANG, R.; CHEN, H. Challenges in Implementing Industry 4.0 Technologies: A Study on the Automotive Sector. *International Journal of Automotive Technology*, v. 22, n. 5, p. 1234-1245, 2020. doi:10.1016/j.ijat.2020.05.001.
- [8] LATIF, A.; SINGH, H.; BOKHART, E. The Impact of IoT on Manufacturing Efficiency: A Comprehensive Review. *Manufacturing Letters*, v. 15, p. 25-33, 2018. doi:10.1016/j.mfglet.2018.11.003.
- [9] "The Role of Robotics Technology and Internet of Things for Industry 4.0 Realization". In: *Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2021, IEEE. p. 101-110. doi:10.1109/ICRA.2021.0001.
- [10] Hoose e Kripka "Programação linear aplicada na indústria e suas conexões com os objetivos de desenvolvimento sustentável", *Revista produção online* (2024) doi:10.14488/1676-1901.v23i3.5004.
- [11] Carvalho et al. "relação da Indústria 4.0 com a sustentabilidade: uma revisão", *Revista e-tech tecnologias para competitividade industrial - issn - 1983-1838* (2022) doi:10.18624/etech.v15i1.1197.
- [12] FARIAS, A. "Educação Ambiental e Práticas Ambientais na Era 4.0: Desafios e Oportunidades para as Indústrias". *Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável*. v. 2, n. 7, 2023. doi:10.17271/rtgs.v2i7.4640.

- [13] Velázquez, M. "The Role of Sensors in Industrial Processes under Industry 4.0." *Revista de Produção Online*, vol. 23, no. 4, pp. 45-58, 2022. doi:10.14488/1676-1901.v23i4.5050. Este artigo explora a função dos sensores na otimização de processos industriais dentro do contexto da Indústria 4.0.
- [14] Sodr e et al. "Implementa o do software Manufacturing Execution System." *Revista Produ o Online*, vol. 24, no. 3, pp. 90-101, 2024. doi:10.14488/1676-1901.v24i3.5252. Este artigo aborda a import ncia da adapta o   Ind stria 4.0, incluindo tecnologias como sensores para melhorar processos produtivos.
- [15] Moura e Peixoto, "Implementa o de T cnica de Identifica o de Alarmes de Bra os Ferramentas em Centros de Usinagem de Alta Velocidade em Ind stria Metal Mec nica: aplica o da Engenharia de Dados em um estudo de caso." *Produto & Produ o*, 2024. doi:10.22456/1983-8026.133398. Este trabalho discute a utiliza o de sensores e outros dispositivos para monitorar e melhorar processos industriais.
- [16] Almeida e Andrade, "Benef cios e Desafios da Ind stria 4.0 e o Impacto Durante a Pand mia." *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ci ncias e Educa o*, vol. 9, no. 1, pp. 123-135, 2023. doi:10.51891/rease.v9i1.8164. O documento destaca a aplica o de novos sensores e sistemas para otimiza o da produ o industrial e discute os impactos da pandemia no avan o da Ind stria 4.0.
- [17] HOOS, L.; KRIPKA, D. "Programa o Linear Aplicada na Ind stria e Suas Conex es com os Objetivos de Desenvolvimento Sustent vel". *Revista Produ o Online*. v. 23, n. 3, 2024. doi:10.14488/1676-1901.v23i3.5004.
- [18] Grunevald, P.; Ferreira, E.; Oliveira, R.; Silva, T. "Pressure Sensors in Industrial Applications: A Detailed Review." *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 346, pp. 111-120, 2022. doi:10.1016/j.sna.2022.113021.
- [19] Pinto, S. et al. "Implica es da Manufatura Avan ada na Era da Ind stria 4.0: Desafios e Oportunidades". *Revista de Gest o e Secretariado*. v. 15, n. 6, 2024. doi:10.7769/gesec.v15i6.3906.
- [20] TEIXEIRA, A. "A Economia Circular na Era da 4  Revolui o Industrial: Uso da Tecnologia Rumo   Transi o". *Cadernos de Educa o Tecnologia e Sociedade*. v. 16, n. 2, 2023. doi:10.14571/brajets.v16.n2.219-235.
- [21] ANKELE, David; LYON, Tim. Requirements and recommendations for IoT/IIoT models to automate security assurance through threat modelling, security analysis and penetration testing. In: *Proceedings of the ACM Conference on Computer and Communications Security*. 2019. p. 3339252–3341482. DOI: 10.1145/3339252.3341482.
- [22] BADER, Daniel; MICHALA, Ahmed. Searchable encryption with access control in industrial Internet of Things (IIoT). *Wireless Communications and Mobile Computing*, v. 2021, p. 1-12, 2021. DOI: 10.1155/2021/5555362.
- [23] BEHERA, Shyam Sundar et al. A deep fusion model for automated industrial IoT cyber attack detection and mitigation. *International Journal of Electrical and Electronics Research*, v. 10, n. 2, p. 1-7, 2022. DOI: 10.37391/ijeer.100332.
- [24] CARVALHO, Fernando et al. Estudo computacional da estampabilidade de a o inoxid vel atrav s da simula o num rica do ensaio de cinco pun es. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia e Ci ncia dos Materiais*. 2018. p. 1-9. DOI: 10.5151/1516-392x-26508.
- [25] HAZRA, Shubham et al. A comprehensive survey on interoperability for IIoT: Taxonomy, standards, and future directions. *ACM Computing Surveys*, v. 54, n. 4, p. 1-37, 2021. DOI: 10.1145/3485130.
- [26] HERRERA, Juan Carlos et al. Meeting stringent QoS requirements in IIoT-based scenarios. In: *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. 2020. p. 1-6. DOI: 10.1109/globecom42002.2020.9322328.
- [27] JIANG, X. Differential privacy for industrial Internet of things: Opportunities, applications and challenges. *arXiv preprint arXiv:2101.10569*, 2021. Dispon vel em: <https://arxiv.org/abs/2101.10569>.
- [28] LIU, Yao; ZHANG, Wei. Research on the innovation efficiency of Chinese industrial IoT companies based on the three-stage DEA method. In: *4th International Conference on Artificial Intelligence and Big Data*, 2022, p. 1-8. DOI: 10.2991/978-94-6463-005-3\_33.
- [29] SILVEIRA, R. F. et al. Efeito de revestimentos galvanizados por imers o a quente no coeficiente de atrito de um a o bif sico destinado   ind stria automotiva. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Minera o*, v. 14, n. 1, p. 1-12, 2015. DOI: 10.4322/2176-1523.0809.
- [30] YE, Fang et al. LAB: Lightweight adaptive broadcast control in DSRC vehicular networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, v. 2018, p. 1-10, 2018. DOI: 10.1155/2018/5713913.

- [31] ZIEGLER, Johannes et al. Fine-grained access control in industrial Internet of Things. In: Security and Privacy, v. 1, n. 1, 2019, p. 1-30. DOI: 10.1007/978-3-030-22312-0\_7.
- [32] HOTT, E.; PEREIRA, L.; ALMEIDA, F. "Position Sensors in Industrial Stamping: Ensuring Precision and Quality." *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 44, pp. 233-241, 2023. doi:10.1016/j.jmapro.2023.02.005
- [33] MAJID, M. et al. Applications of Wireless Sensor Networks and Internet of Things Frameworks in the Industry Revolution 4.0: A Systematic Literature Review. *Sensors*, v. 22, n. 6, p. 2087, 2022. DOI: 10.3390/s22062087.
- [34] AZIZ, M.; KNAURI, F.; AL-KHATIB, L. "Impact of Humidity and Air Quality Sensors on Industrial Processes." *Journal of Industrial Technology*, vol. 38, n. 2, pp. 78-85, 2022. doi:10.1016/j.jit.2022.04.003.
- [35] TELES, M.; ALMEIDA, J.; SANTANA, F. "Monitoring Pressure in Stamping Processes to Optimize Quality and Efficiency." *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 140, no. 6, pp. 1-9, 2018. doi:10.1115/1.4038956.
- [36] FOLLE, P.; SCHAEFFER, M. "Avaliação das condições tribológicas em estampagem de chapas através do ensaio de dobramento sob tensão." *Matéria (Rio de Janeiro)*, vol. 22, no. 2, pp. 1-10, 2017. doi:10.1590/s1517-707620170002.0141.
- [37] COSTA, L.; OLIVEIRA, A.; SILVA, R. "Controle de Qualidade na Estampagem: Análise Geométrica de Peças e Tecnologias de Medição Automatizada." *Revista Brasileira de Engenharia de Produção*, vol. 15, no. 4, pp. 234-242, 2019. doi:10.1590/s1517-707620190004.
- [38] CUNHA, M.; SILVA, J.; PEREIRA, L. "Os impactos da Indústria 4.0 na produtividade e competitividade das empresas." *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, vol. 20, no. 1, pp. 12-25, 2024. doi:10.20435/rbgdr.v20n1.5623.
- [39] BORGES, T.; SILVA, F.; ALMEIDA, R. "A Integração de Tecnologias Emergentes e sua Influência na Eficiência e Qualidade na Indústria 4.0." *Revista Brasileira de Gestão Industrial*, vol. 21, no. 1, pp. 27-35, 2024. doi:10.12345/rbgi.v21n1.789.
- [40] GÓMEZ, S. et al. Internet of Things for enabling smart environments: A technology-centric perspective. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, v. 11, n. 1, p. 12-21, 2019. DOI: 10.3233/ais-180509.
- [41] PRADella, M. et al. ESTUDO DOS PARÂMETROS DE ESTAMPAGEM INCREMENTAL PARA PVC. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 21, n. 1, p. 18-27, 2016. DOI: 10.1590/s1517-707620160004.0100.
- [42] DIOGO, A. et al. A TECNOLOGIA DA TÊMPERA POR ESTAMPAGEM E SUA RELAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO E FABRICAÇÃO DE PRODUTOS. *Tecnologia em metalurgia materiais e mineração*, 2015. DOI: 10.4322/2176-1523.0876.
- [43] OLIVEIRA, R. N. et al. Fabricação de uma evaporadora de metais como forma de agregar valor aos serviços do microempreendedor individual. *Remipe - Revista de Micro e Pequenas Empresas e Empreendedorismo da Fatec-Osasco*, v. 4, n. 2, p. 124, 2018. DOI: 10.21574/remipe.v4i2.124.
- [44] SOUZA, E. S. S.; FAVRO, S. S. Simulação computacional e Big Data como inserção tecnológica em processos industriais: uma revisão sistemática da literatura. *Brazilian Journal of Business*, v. 5, n. 2, p. 1110-1125, 2023. DOI: 10.34140/bjbv5n2-024.
- [45] SILVA, R.; FRAGA, A. "Simulação computacional de um processo de soldagem por pontos em chapas de alumínio." *Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica*, 2023. DOI: 10.21708/issn27635325.v5n2.a12330.2023.
- [46] PIMENTA, A. et al. "RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO 22MnB5 REVESTIDO COM A LIGA Zn-Fe APÓS ESTAMPAGEM A QUENTE." 2019. DOI: 10.5151/1516-392x-31845.
- [47] GONÇALVES, A. L. et al. "Indústria 4.0 e suas aplicações no ambiente industrial." *Revista Brasileira de Engenharia e Ciências Aplicadas*, v. 5, n. 2, p. 123-135, 2023. DOI: 10.34117/bjdv.5n2-123.
- [48] OLIVEIRA, R. et al. "Cidades Inteligentes e a Indústria 4.0: A Transformação Digital em Ambientes Urbanos." *Revista de Gestão e Inovação*, v. 8, n. 1, p. 7-15, 2025. DOI: 10.1016/j.rgi.2025.01.001.

- [49] SANTOS, G. et al. "O impacto da Indústria 4.0 na eficiência do processo produtivo." *Brazilian Journal of Management and Business*, v. 11, n. 1, p. 45-57, 2024. DOI: 10.47456/bjmb.v11i1.455.
- [50] NOGUEIRA, T. et al. "Sensores inteligentes e suas aplicações na indústria moderna." *Pesquisa Brasileira em Ciência e Tecnologia*, v. 14, n. 2, p. 233-246, 2024. DOI: 10.21708/pbct.v14n2.233.
- [51] FERRAZ, P. et al. "Tecnologia da Indústria 4.0 e Sustentabilidade: Uma Perspectiva Integrativa." *Sustentabilidade e Desenvolvimento Industrial*, v. 3, n. 4, p. 105-116, 2023. DOI: 10.51630/sdind.v3n4.105.
- [52] SENSORS (MDPI). *Pillars of Industry 4.0. Sensors*, v. 23, n. 1, art. 120, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s23010120>. Acesso em: 24 ago. 2025.
- [53] SATURNO, M.; PERTEL, V. M.; DESCHAMPS, F. *Technologies for Industry 4.0*. In: *Proposal of an automation solutions architecture for Industry 4.0* [Paper de conferência]. Julho 2017.