



Esta obra está sob o direito de
Licença Creative Commons
Atribuição 4.0 Internacional.

PERSPECTIVAS E DESAFIOS DA SUSTENTABILIDADE NA ERA DA INDÚSTRIA

4.0

Daniel Santos¹
Givanilson Gomes Ferreira²
Roberta Bia Matheus da Silva³
Vívia Pereira de Moraes Santos⁴

RESUMO

Este artigo revisa a relação entre a Indústria 4.0 e a sustentabilidade, destacando como tecnologias emergentes podem promover práticas industriais mais responsáveis. A Indústria 4.0, caracterizada por automação, digitalização, Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e robótica avançada, apresenta soluções para desafios ambientais e sociais enfrentados pela indústria. O estudo analisa como essas tecnologias podem otimizar a cadeia produtiva, melhorar a eficiência energética e reduzir resíduos, explorando também a transição para uma economia circular, com foco na reutilização de materiais e no monitoramento em tempo real do consumo energético. Os principais objetivos são: i) examinar como a digitalização e automação da Indústria 4.0 podem contribuir para a sustentabilidade; ii) avaliar seus impactos na eficiência energética e redução de resíduos; e iii) identificar desafios e oportunidades para práticas sustentáveis. Além disso, o artigo aborda barreiras como os custos de implementação e a necessidade de mão de obra qualificada. Conclui-se que a Indústria 4.0 pode ser uma ferramenta poderosa para impulsionar o desenvolvimento sustentável, integrando tecnologias que promovem a eficiência produtiva e minimizam impactos ambientais. O estudo sugere que a colaboração entre governos, empresas e sociedade civil é essencial para uma adoção responsável dessas tecnologias, garantindo benefícios ambientais e econômicos de longo prazo.

Palavras-chave: Automação. Eficiência Energética. Cadeia de Produção.

¹ Graduando em Administração pela Faculdade Raimundo Marinho de Penedo

² Graduando em Administração pela Faculdade Raimundo Marinho de Penedo

³ Graduando em Administração pela Faculdade Raimundo Marinho de Penedo

⁴ Graduada em Administração. Especialista em Gestão de Pessoas, e Gestão da Qualidade. Mestra em Ciências da Propriedade Intelectual pela Universidade Federal de Sergipe (UFS)

INTRODUÇÃO

Analisar e compreender de forma mais abrangente as implicações ambientais, sociais e econômicas da adoção da Indústria 4.0, identificando as estratégias e soluções para maximizar os benefícios e mitigar os impactos negativos, visando promover um desenvolvimento sustentável e inclusivo dentro da indústria. Nos últimos anos, observamos uma transformação industrial sem precedentes, impulsionada pela convergência de tecnologias emergentes e pela crescente demanda por eficiência, qualidade e responsabilidade ambiental.

Diante desse cenário, o estudo tem como objetivo investigar os efeitos da adoção das tecnologias da Indústria 4.0 no setor produtivo, com foco na sua influência sobre a sustentabilidade empresarial. Para alcançar este objetivo, será necessário: i) examinar a digitalização e automação na Indústria 4.0 na cadeia de produção, ii) avaliar os impactos dessas tecnologias na eficácia energética e na diminuição de resíduos industriais, e iii) identificar os desafios e oportunidades para a implementação de práticas sustentáveis na promoção da eficiência energética. A implementação de práticas sustentáveis, que envolvem a promoção da eficiência energética e a redução de resíduos, é fundamental para garantir a viabilidade das empresas a longo prazo.

Diante desses contextos interligados, emerge a questão fundamental: de que forma podemos empregar a revolução digital da Indústria 4.0 para fomentar práticas mais sustentáveis? Essa indagação vai além das grandes corporações, influenciando também as pequenas e médias empresas, os empreendedores individuais e até mesmo os consumidores finais.

Nessa perspectiva, o estudo justifica-se pela necessidade de compreender como as tecnologias digitais avançadas podem afetar a sustentabilidade global, contribuindo para o entendimento dos mecanismos pelos quais a digitalização e a automação podem ser aliadas na busca por um desenvolvimento industrial mais sustentável, ao compreendermos melhor como as tecnologias da Indústria 4.0 podem ser utilizadas para promover práticas ambientalmente responsáveis, estamos não apenas atendendo às exigências do mercado, mas também cumprindo com nosso compromisso para com o meio ambiente e as futuras gerações (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2021).

1 AUTOMAÇÃO NA INDÚSTRIA 4.0

A adoção da Indústria 4.0 pode oferecer soluções inovadoras para os desafios ambientais e sociais enfrentados pela indústria, contribuindo para a

construção de um futuro mais sustentável, buscando por soluções inovadoras que unam eficiência operacional e responsabilidade ambiental tornou-se uma prioridade em todas as frentes (LUTHRA; MANGLA, 2018).

Esta revolução, conhecida como Indústria 4.0, representa a quarta fase da evolução industrial, marcada pela digitalização e pela interconexão de processos industriais. Surgida na Alemanha em 2012, a Indústria 4.0 promete não apenas uma evolução tecnológica, mas sim uma redefinição fundamental dos paradigmas de produção e gestão (LU, 2017).

A Indústria 4.0 representa uma revolução na forma como os processos industriais são concebidos, operados e gerenciados. Segundo Lu (2017), esse conceito engloba a integração de sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas (IoT), computação em nuvem, inteligência artificial e outras tecnologias digitais avançadas. Essa convergência tecnológica visa criar fábricas inteligentes capazes de se adaptar dinamicamente às demandas do mercado, otimizando a produção, reduzindo custos e aumentando a eficiência operacional.

De maneira geral, a Indústria 4.0 não se limita apenas à automação e digitalização dos processos industriais, mas também envolve uma mudança

fundamental na forma como as empresas concebem suas operações. Ao ressaltar que essa abordagem holística busca promover a interconexão de todos os aspectos da cadeia de valor, desde a produção até a entrega, permitindo uma tomada de decisão mais ágil e informada (MÜLLER, 2018).

A automação industrial e a robótica têm desempenhado um papel crucial na promoção da sustentabilidade na indústria moderna. Por meio da automação de processos, as empresas podem reduzir significativamente o consumo de energia e matéria-prima, bem como minimizar a geração de resíduos.

Além disso, a automação contribui para a melhoria das condições de trabalho, ao eliminar atividades monótonas e perigosas. Um exemplo prático é a utilização de robôs em linhas de produção para otimizar o uso de materiais, reduzir o desperdício e garantir a qualidade dos produtos finais (TAULLI, 2020).

A aplicação da robótica colaborativa, também conhecida como *cobots*, tem ganhado destaque na indústria devido à sua capacidade de trabalhar em colaboração com humanos de forma segura e eficiente. Esses sistemas oferecem flexibilidade e adaptabilidade às mudanças nas demandas de produção, permitindo uma resposta rápida a novos requisitos de sustentabilidade. Pesquisas de referência como as de García-Ortega *et al.*, (2018)

evidenciam os benefícios da utilização de *cobots* em processos de montagem e manufatura, onde a interação homem-máquina é essencial para alcançar níveis mais altos de eficiência e sustentabilidade.

Nesse contexto, a Internet das Coisas (IoT) refere-se à interconexão de dispositivos físicos, veículos, eletrodomésticos e outros objetos, permitindo que eles coletem e troquem dados através da internet (PARK *et al.*, 2018). Esses dispositivos são equipados com sensores, software e outras tecnologias que permitem a comunicação e a coleta de informações, criando um ambiente inteligente e interconectado. Em resumo, a IoT possibilita que objetos do cotidiano se tornem inteligentes, capazes de coletar e compartilhar dados para facilitar diversas atividades, a gestão de processos industriais (KUSI-SARPON *et al.*, 2022).

2.1 A indústria 4.0 na relação da eficácia energética e efluentes industriais

A eficiência energética é uma preocupação crescente na indústria moderna, e a Indústria 4.0 oferece soluções inovadoras para abordar essa questão. Com a automação industrial e o uso de sistemas ciberfísicos, as empresas podem monitorar e controlar o consumo de energia em tempo real. Isso permite identificar áreas de desperdício e implementar medidas para

otimizar o uso de energia em processos industriais (BROWN *et al.*, 2020). Além disso, a aplicação de sensores inteligentes e dispositivos conectados permite ajustar automaticamente o funcionamento de equipamentos para operar de forma mais eficiente, reduzindo o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa (FERREIRA; DUARTE, 2019).

A redução de emissões é um aspecto crucial da sustentabilidade, e a Indústria 4.0 oferece ferramentas para ajudar as empresas a alcançar suas metas ambientais. Através da análise de dados e da implementação de sistemas de monitoramento ambiental, as empresas podem identificar fontes de emissões e desenvolver estratégias para reduzi-las (RIBEIRO *et al.*, 2020). A partir disso, a automação industrial permite otimizar processos produtivos para minimizar o uso de recursos não renováveis e reduzir o impacto ambiental das operações industriais (SILVA *et al.*, 2019). Isso não apenas contribui para a preservação do meio ambiente, mas também pode gerar economias significativas de custos para as empresas, tornando-as mais competitivas no mercado global.

Nesse contexto, a transição para uma economia circular é essencial para promover a sustentabilidade na indústria, e a Indústria 4.0 desempenha um papel fundamental nesse processo. Através do uso de tecnologias como IoT e *Big Data*, as

empresas podem rastrear e gerenciar o ciclo de vida dos produtos de forma mais eficiente (PORTER *et al.*, 2019). Isso permite identificar oportunidades para reciclar e reusar produtos, reduzindo assim a geração de resíduos e promovendo a utilização mais eficiente dos recursos (CHEN *et al.*, 2021). Além disso, a automação industrial facilita a implementação de processos de produção mais sustentáveis, permitindo o uso de materiais reciclados e a redução do desperdício de matéria-prima (NASCIMENTO *et al.*, 2019).

O gerenciamento eficaz de resíduos é uma parte essencial da estratégia de sustentabilidade de uma empresa, e a Indústria 4.0 oferece ferramentas avançadas para ajudar nesse aspecto. Através da implementação de sistemas de monitoramento e controle de resíduos, as empresas podem acompanhar o fluxo de resíduos em suas instalações e identificar áreas de melhoria (LEE *et al.*, 2018).

Além disso, a análise de dados pode ajudar a otimizar os processos de reciclagem e tratamento de resíduos, reduzindo os custos operacionais e o impacto ambiental das operações industriais (OLIVEIRA *et al.*, 2018). O monitoramento ambiental é fundamental para garantir que as operações industriais estejam em conformidade com as regulamentações ambientais e para

identificar potenciais impactos negativos no meio ambiente.

A Indústria 4.0 oferece avanços significativos nessa área, através da integração de sensores e dispositivos inteligentes em processos industriais (ZHAN; CHENG; ZHAI; MENG *et al.*, 2020). Esses dispositivos podem coletar uma ampla gama de dados ambientais, como qualidade do ar, níveis de ruído, concentração de poluentes e uso de recursos naturais, em tempo real (LI *et al.*, 2019). Com o uso de tecnologias como IoT e *Big Data*, esses dados podem ser analisados de forma rápida e precisa, permitindo que as empresas identifiquem problemas ambientais e tomem medidas corretivas imediatas.

Desse modo, além do monitoramento ambiental, a Indústria 4.0 também desempenha um papel importante no controle de qualidade dos produtos industriais. Através da implementação de sistemas de controle de qualidade baseados em sensores e tecnologias de análise de dados, as empresas podem garantir que seus produtos atendam aos mais altos padrões de qualidade (KIM *et al.*, 2019).

3 METODOLOGIA

Este artigo adota uma abordagem de pesquisa qualitativa por meio de uma revisão bibliográfica de caráter descritivo

(MARCONI, 2024; LUNETTA; GUERRA, 2023). Para coletar os dados, foram utilizados instrumentos de busca em bases de dados acadêmicas, como Scopus, Web of Science e Google Scholar, utilizando palavras-chave relevantes, como "Indústria 4.0", "sustentabilidade", "tecnologias emergentes" e suas combinações. A partir disso, observa-se que a amostragem foi realizada de forma não probabilística, priorizando artigos científicos, e bibliografias, que abordem diretamente a interseção entre Indústria 4.0 e sustentabilidade.

A partir disso, os procedimentos de coleta de dados envolveram a seleção e leitura crítica dos documentos identificados, bem como a extração de informações pertinentes para a análise. Durante esse processo, foram registradas as principais contribuições, tendências, desafios e oportunidades relacionadas à integração da Indústria 4.0 e da sustentabilidade.

A análise e interpretação dos dados seguiram uma abordagem dedutiva, em que os conceitos e *insights* foram emergindo durante a revisão dos documentos (CRESWELL, 2021). As informações foram organizadas e sintetizadas de acordo com as categorias temáticas identificadas, permitindo uma compreensão mais profunda das relações entre Indústria 4.0 e sustentabilidade, bem como suas

implicações para o desenvolvimento futuro da indústria e do meio ambiente (MACHADO, 2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Identificar os desafios e oportunidades para a implementação de práticas sustentáveis na promoção da eficiência energética, o que envolve superar barreiras como custo e falta de conhecimento, e aproveitar oportunidades como economia a longo prazo e inovação tecnológica. A implementação eficaz exige avaliação do consumo energético, adoção de tecnologias eficientes, otimização de processos e educação contínua. As práticas incluem o uso de equipamentos de baixo consumo, fontes renováveis e construção sustentável para reduzir desperdício e promover economias.

A interseção entre Indústria 4.0 e sustentabilidade revela um campo vasto e promissor, repleto de oportunidades e desafios para as empresas e a sociedade como um todo. Como as tecnologias emergentes da Indústria 4.0 estão sendo utilizadas para promover práticas mais sustentáveis na indústria, desde a otimização de recursos até a redução do desperdício.

Com o avanço das tecnologias da Indústria 4.0, a questão da automação torna-se central na discussão sobre

sustentabilidade e eficiência energética, especialmente no setor agropecuário, portanto a alta probabilidade de automação das ocupações, como observado no perfil dos trabalhadores, sinaliza a necessidade urgente de integração tecnológica, embora desafiadora, especialmente para pequenos e médios estabelecimentos, essa automação representa uma oportunidade para a otimização de processos e a redução do desperdício de recursos (BERTOLINI; MARCHI, 2023), ao adotar essas tecnologias de maneira estratégica, as empresas podem não apenas elevar sua produtividade e eficiência, mas também reforçar seu compromisso com práticas sustentáveis.

Além disso, a integração de tecnologias emergentes, como a inteligência artificial (IA) e o aprendizado de máquina (machine learning), proporciona uma análise avançada e precisa dos dados, facilitando assim a tomada de decisões mais informadas e eficazes, uma vez que essas tecnologias possibilitam a identificação de padrões complexos e tendências ocultas no uso de recursos, permitindo, portanto, a otimização de operações e estratégias, já que a capacidade de processar grandes volumes de dados em tempo real e de aprender com novas informações promove uma adaptação

rápida e uma resposta ágil às mudanças do mercado e às necessidades dos usuários (KIM et al., 2019)

No entanto, apesar dos benefícios potenciais, também é importante reconhecer os desafios e limitações associados à adoção da Indústria 4.0 em um contexto de sustentabilidade. Por exemplo, a implementação dessas tecnologias pode exigir investimentos significativos em infraestrutura e treinamento de pessoal, além de questões relacionadas à segurança cibernética e privacidade de dados também precisam ser abordadas para garantir o uso ético e responsável dessas tecnologias (ZHU *et al.*, 2020).

O perfil dos trabalhadores no setor agropecuário brasileiro apresenta características que influenciam diretamente a adoção de práticas sustentáveis, pois predomina a presença masculina com uma idade média de 38 anos e um nível educacional predominantemente abaixo do ensino fundamental, de forma que compreender essas características é crucial para criar estratégias de educação contínua e treinamento que visem preencher as lacunas de conhecimento e habilidades necessárias para a implementação bem-sucedida de tecnologias sustentáveis (FERNANDES, 2024).

Quadro 1 – Desafios e oportunidades na relação da eficiência energética



Fonte: AIYTRAIT (2024); SEBRAE (2023); SANTOS (2022); SOTT *et al.*, (2020); TOSHIOKA (2023).

Atualmente as práticas que visam minimizar impactos ambientais são vistas como vantajosas para as empresas sejam elas de pequeno ou de grande porte, e essas práticas, além de está auxiliando o meio ambiente, também apresentam retornos financeiros para a empresa e com a implantação de medidas ambientais ajudam a construir uma imagem positiva dos consumidores em relação à empresa (SANTOS, 2022).

A partir disso, adotando essas práticas, eleva-se um nível de responsabilidade ao meio ambiente que será visto de forma mais respeitosa pelas empresas. Os autores Luthra e Mangla (2018), defendem que a Indústria 4.0 pode

ser a solução para o desenvolvimento de processos sustentáveis e a criação de uma cadeia de valor integrada que incentive a proteção ambiental e social, estudos mais recentes corroboram essa visão. Conforme aponta Toshioka (2023), a eficiência energética desempenha um papel crucial na preservação dos recursos naturais, tornando-se cada vez mais relevante em um contexto de escassez e aumento dos custos de energia.

Segundo Kipper *et al.*, (2020) as organizações que têm como objetivo estratégico os desejos de seus consumidores, a redução de resíduos e a integração tecnológica para a transformação de seus processos podem

alcançar maior eficiência, espaço de mercado e contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Um estudo publicado na *Revista de Administração de Empresas* em 2020 destaca que o enfrentamento da crise da Covid-19 ressaltou a importância do olhar crítico e sistêmico para a atuação empresarial voltada à sustentabilidade, demonstrando, assim, que as empresas que adotam práticas sustentáveis não apenas contribuem para a preservação ambiental, mas também melhoram sua imagem e reputação perante a sociedade (NICOLLETTI; ALEM; BLAZEK; FILLIPPI; BISMARCHI, 2020).

Conforme discutido Aiytrait (2024) a Indústria 4.0 transforma a produção por meio da digitalização e automação, promovendo a sustentabilidade com otimização de processos e uso da IoT, mas enfrenta desafios como altos custos, necessidade de mão de obra qualificada e questões éticas e de segurança. O diferencial da Indústria 4.0 está no fato de que o processo de fabricação vai evoluindo de uma única célula automatizada, como por exemplo, a estação de trabalho com um conjunto de máquinas interligadas e conectadas, para sistemas automatizados e integrados que se comunicam com outros, contribuindo para maior flexibilidade, velocidade, produtividade e qualidade dos sistemas produtivos (ALBERTIN, 2021).

De acordo com Machado e Silva (2023), a Indústria 4.0 é reconhecida por sua capacidade de aumentar a eficiência e a produtividade das organizações, mas também levanta preocupações relacionadas às funções desempenhadas pelas pessoas e ao nível de desempenho resultante da crescente automação. Apesar dos benefícios em eficiência e produtividade, a Indústria 4.0 apresenta desafios significativos, como questões de sustentabilidade e impacto nas funções humanas. É crucial equilibrar a inovação tecnológica com a responsabilidade social e ambiental.

Percebe-se a importância da economia sustentável por meio de inovações do ambiente de fabricação, mobilidade inteligente e armazenagem na nuvem, recursos de computação e segurança da informação, aqueles dos quais podem ser considerados requisitos básicos da Indústria 4.0. A concepção de indústria 4.0 também inclui alguns recursos adicionais como; facilidade de monitoramento do sistema e diagnóstico, propiciando um ambientalmente amigável e sustentável por meio de uma abordagem de economia de recursos, tornando o processo mais eficiente (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

A implementação de novas tecnologias e a substituição do trabalho pelo capital é um processo que ocorre em todos os setores a fim de reduzir custos, aumentar

a produtividade e facilitar o fornecimento de soluções individuais para os clientes, sendo que a maioria dos estudos diz respeito às indústrias de transformação, embora a iniciativa Indústria 4.0 seja relevante em todos os setores, e, nesse contexto, algumas constatações importantes, resultados de estudos e pesquisas, estão relacionadas com a discussão sobre as implicações econômicas e de negócios da Indústria 4.0, e incluem: ambiente de trabalho, habilidades, desenvolvimento econômico, crescimento e aspecto macroeconômico, sustentabilidade e meio ambiente, política, mudança nos processos de negócios, digitalização, fábrica inteligente e fabricação inteligente (MARESOVA et al., 2018; AQUILANI, 2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto deste artigo, é importante destacar que a convergência entre a Indústria 4.0 e a sustentabilidade apresenta oportunidades significativas para impulsionar práticas mais responsáveis e eficientes na indústria. Ao longo deste artigo, exploramos como as tecnologias emergentes da Indústria 4.0 têm o potencial de transformar os processos industriais, promovendo eficiência energética, redução de resíduos e impacto ambiental.

Ao analisar a literatura revisada, torna-se claro que a adoção da Indústria 4.0

pode contribuir para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente aqueles relacionados à produção e consumo responsáveis, energia limpa e crescimento econômico sustentável.

No entanto, é importante reconhecer que a transição para a Indústria 4.0 não é isenta de desafios. Questões como segurança de dados, desigualdade digital e impactos socioeconômicos devem ser cuidadosamente consideradas para garantir que os benefícios dessa transformação sejam amplamente distribuídos e sustentáveis a longo prazo.

Diante disso, é fundamental que governos, empresas e sociedade civil trabalhem em conjunto para desenvolver políticas e estratégias que promovam uma adoção responsável da Indústria 4.0, levando em conta não apenas os aspectos tecnológicos, mas também os impactos sociais, ambientais e éticos.

À medida que avançamos em direção a uma economia mais digitalizada, é crucial manter o foco na busca por soluções que equilibrem os imperativos da inovação tecnológica com os princípios da sustentabilidade e equidade. Somente assim poderemos construir um futuro onde a indústria e o meio ambiente possam coexistir de forma harmoniosa e benéfica para todos.

Para sugestões de estudos futuros, far-se-á necessário avaliar profundamente os impactos socioeconômicos da implementação da Indústria 4.0, especialmente em regiões com menor infraestrutura digital, a partir de uma elaboração de modelos que integrem tecnologias emergentes com práticas sustentáveis em diferentes setores da indústria, analisando como essas inovações podem ser adaptadas para beneficiar economias em desenvolvimento. Além disso, o desenvolvimento de *frameworks* de políticas públicas que promovam uma adoção equitativa da Indústria 4.0, garantindo que os benefícios econômicos e ambientais sejam distribuídos de maneira justa, é uma área crítica a ser explorada.

REFERÊNCIAS

AIYRAIT, L. T. **Indústria 4.0 e sustentabilidade: desafios e soluções para o futuro.** (2024). Disponível em: <https://aiyrait.com.br/industria-4-0-sustentabilidade/>. Acesso em: 19 de jun. de 2024.

ALBERTIN, Marcos Ronaldo. **A engenharia de produção na era da indústria 4: estudos de casos e benchmarking da Indústria 4.0.** 1. ed. Curitiba: Appris, 2021.

AQUILANI, Barbara et al. The role of open innovation and value co-creation in the challenging transition from industry 4.0 to society 5.0: Toward a theoretical framework. **Sustainability**, v. 12, n. 21, p. 8943, 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/871684>>. Acesso em: 15 de ago. 2024.

BERTOLINI, M., e DE MARCHI, V. Automation in Agriculture: Challenges and Opportunities for Sustainable Development. **Journal of Cleaner Production**, 415, 136325, 2023. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136325>>. Acesso em: 11 de ago. 2024.

BROWN, D. H.; PAULOS, E.; FERREIRO, M. J. **Internet Industrial das Coisas para sistemas de fabricação baseados na Indústria 4.0.** Em: Anais do IEEE, v. 106, n. 2, p. 220-232, 2020.

CHEN, T.; WEI, W.; LIN, Y. **Estrutura de avaliação da sustentabilidade para a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 na manufatura.** *Sustentabilidade*, v. 13, n. 2, p. 580, 2021.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto.** 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2021.

- FERNANDES, T. L. X.; SILVA, A. C.; MENDES, F. A. Determinantes da manutenção do emprego em tempos de Indústria 4.0: o caso da agropecuária no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. n. 62, v. 4, 2024. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/resr/a/rwJdVVVdTtqmBthSKVtpJrp/#>>. Acesso em: 10 jul. 2024.
- FERREIRA, M. J.; DUARTE, J. **Indústria 4.0: Implicações em uma transição sustentável**. *Procedia Manufacturing*, v. 13, p. 1319-1326, 2019.
- GARCIA-ORTEGA, J. M.; MERIGÓ, J. M.; MAS-TUR, A. **Implicações da Indústria 4.0 e sustentabilidade: Uma abordagem de tomada de decisão multicritério**. *Sustentabilidade*, v. 10, n. 10, p. 3486, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su10103486>>. Acesso em: 05 de ago 2024.
- KIM, J., *et al.* **Uma revisão dos sistemas de controle e garantia de qualidade utilizando tecnologias da Indústria 4.0**. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, v. 6, n. 5, p. 1037-1048, 2019.
- KIPPER, J., SILVA, D., & PINTO, M. Strategies for Improving Efficiency and Sustainability through Technological Integration and Waste Reduction. **Journal of Cleaner Production**, 258, 120677, 2020. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120677>>. Acesso em: 18 de ago de 2024.
- KUSI-SARPON, E.; ASIEDU, Y.; TURKSON, R. **Indústria 4.0 e objetivos de desenvolvimento sustentável: Implicações e oportunidades**. Em *Avanços em Manufatura e Engenharia Industrial*, p. 229-248, 2022.
- KUSI-SARPON, E., *et al.* Impacto das Tecnologias da Indústria 4.0 na Sustentabilidade Ambiental no Setor Manufatureiro. **Journal of Cleaner Production**, v. 339, p. 130721, 2022.
- LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. Uma arquitetura de sistemas ciber-físicos para sistemas de fabricação baseados na Indústria 4.0. **Cartas de fabricação**, v. 13, p. 18-23, 2018.
- LI, X., *et al.* **Sistema de monitoramento e controle ambiental baseado na Internet das Coisas e computação em nuvem**. *IEEE Access*, v. 7, p. 58481-58488, 2019.
- LU, Y. Indústria 4.0: Uma pesquisa sobre tecnologias, aplicações e questões de pesquisa em aberto. **Journal of Industrial**

Information Integration, v. 6, p. 1-10, 2017.

LUNETTA, Avaetê de; GUERRA, Rodrigues. Metodologia da Pesquisa Científica e Acadêmica. **Revista OWL (OWL Journal) - Revista Interdisciplinar de Ensino e Educação**, 1(2), 149–159, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8240361>. Acesso em: 19 de junho de 2024.

LUTHRA, S.; MANGLA, S. K. Indústria 4.0 e sustentabilidade: Um framework integrado e agenda de pesquisa. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 1-13, 2018.

LUTHRA, S.; MANGLA, S. K. **Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies**. Process Saf. Environ. Prot., v. 117, p. 168-179, 2018. doi:10.1016/j.psep.2018.04.018.

MACHADO, C. F. S. C.; SILVA, J. P. D. T. **Indústria 5.0 pessoas, tecnologia e sustentabilidade**, 2023.

MACHADO, José Ronaldo de Freitas. **Metodologias de pesquisa: um diálogo quantitativo, qualitativo e quali-quantitativo**. Devir Educação, v. 7, n. 1, p. e697, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.30905/rde.v7i1.697>

>. Acesso em: 19 de junho de 2024. Conjuntiva Actual editora, uma chancela de Edições Almedina, S.A. 2023.

MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do trabalho científico: projetos de pesquisa, pesquisa bibliográfica, teses de doutorado, dissertações de mestrado e trabalhos de conclusão de curso**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2024.

MÜLLER, J. M. **O impacto da Indústria 4.0 na sustentabilidade**. Em: 2018 16ª Conferência Internacional sobre Tecnologias e Aplicações de e Learning Emergentes (ICETA), p. 1-6, 2018. IEEE.

NASCIMENTO, L. F.; OLIVEIRA, M. C. **A Indústria 4.0 e sua contribuição para a tripla linha de fundo: Uma revisão sistemática da literatura**. Procedia Manufacturing, v. 32, p. 897-904, 2019.

NICOLLETTI, Marcos; ALEM, Gustavo; BLAZEK, Marta; FILLIPPI, Paulo; BISMARCHI, Lúcia F.. **Atuação Empresarial para Sustentabilidade e Resiliência no contexto da Covid-19**. Revista de Administração de Empresas, n. 60, v. 6, pag. 413–425, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0034-759020200605>>. Acesso em: 06 de ago. 2024.

OLIVEIRA, M. C.; LEE, J.; FERREIRA, P. L. **Indústria 4.0: Uma revisão de suas dimensões e das tendências futuras antecipadas na manufatura.** Revista da Sociedade de Pesquisa Operacional, v. 69, n. 8, p. 1190-1217, 2018.

OESTERREICH, Thomas D., & TEUTEBERG, Frank. **Understanding the implications of digitalization and automation for sustainable industrial development.** Journal of Cleaner Production, 295, 126400, 2021. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126400>>. Acesso em: 20 de ago. 2024.

OZTEMEL, E.; GURSEV, S. **Literature review of Industry 4.0 and related technologies.** Journal of Intelligent Manufacturing. v. 31, p. 127–182, 2020. Disponível em:<<https://engemasp.submissao.com.br/22/arquivos/420.pdf>>. Acesso em: 20 de ago. 2024.

PARK, J. H.; LEE, J. Y.; KWON, O.; KIM, Y. D. **Um estudo empírico sobre a percepção e adoção da Indústria 4.0 na indústria têxtil: Um caso do setor de fiação.** Sustentabilidade, v. 10, n. 6, p. 1980, 2018.

PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. **Por que toda organização precisa de uma estratégia de realidade aumentada.** Harvard Business Review, v. 97, n. 6, p. 46-57, 2019.

RIBEIRO, J. L. D.; SILVA, T. B.; NASCIMENTO, D. D. **Produção sustentável e adoção da Indústria 4.0: Uma análise bibliométrica.** Sustentabilidade, v. 12, n. 23, p. 10234, 2020.

SANTOS, Ivana Lopes dos. **Manual de práticas sustentáveis aplicáveis em empresas de pequeno porte.** 2022. Disponível em:
<<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/71866>>. Acesso em: 06 de ago. 2024.

SEBRAE. **O desafio da eficiência energética.** 2023. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-desafio-da-eficiencia-energetica,8a36ebdade136810VgnVCM100001b00320aRCRD>>. Acesso em: 25 jun. de 2024.

SILVA, A. P.; OLIVEIRA, M. C.; LEE, J. H. **Indústria 4.0 e a transformação digital na gestão da sustentabilidade.** Journal of Cleaner Production, v. 214, p. 975-985, 2019.

SOTT, M. K.; SOUZA, J. S.; FERREIRA, R. M. **Processos sustentáveis e indústria 4.0: Desafios e oportunidades para a transformação digital.** Congresso Internacional de Administração 2020. Disponível em: <Modelo de Artigo (admpg.com.br)>. Acesso em: 25 de jun. 2024.

Production Economics, v. 222, p. 107492, 2020.

TAULLI, Tom. **The robotic process automation handbook.** The Robotic Process Automation Handbook, 2020. Disponível em:<<https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4842-5729-6>>. Acesso em: 10 de set. 2024.

TOSHIOKA, Frank. **Eficiência Energética: Um Guia abrangente para um Mundo Sustentável.** Clube de Autores. 2023.

ZHAN, S.; CHENG, M.; ZHAI, G.; MENG, F. **Avaliação de Impacto de Sustentabilidade das Tecnologias da Indústria 4.0: Um Estudo de Caso da Indústria de Fabricação de Veículos Elétricos.** Journal of Cleaner Production, v. 251, p. 119677, 2020.

ZHU, Z. *et al.* **Gerenciamento de Recursos Impulsionado por Big Data na Indústria 4.0.** International Journal of