INTERFACE TECNOLÓGICA

PRODUÇÃO MAIS LIMPA: CONTRIBUIÇÕES DA INDÚSTRIA 4.0 PARA A SUSTENTABILIDADE: uma análise crítica

CLEANER PRODUCTION: CONTRIBUTIONS OF INDUSTRY 4.0 TO SUSTAINABILITY: a critical analysis

Ayame De Oliveira Ferreira da Silva – ayame@gmail.com
Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga (Fatec) - Taquaritinga - SP –Brasil

Diego Renan Bruno – diego_renan_bruno@hotmail.com
Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga (Fatec) - Taquaritinga - SP –Brasil

DOI: 10.31510/infa.v20i2.1798
Data de submissão: 06/09/2023
Data do aceite: 16/11/2023
Data da publicação: 20/12/2023

RESUMO

Este trabalho é uma análise crítica dos impactos da implantação da Indústria 4.0 na sustentabilidade. Este estudo foi elaborado com base em uma investigação dos estudos existentes, usando critérios de seleção, elegibilidade e inclusão como diretrizes da técnica metodológica PRISMA, item de relato preferencial para revisões sistemáticas e meta análises. A escolha de dois textos no sistema de informações se deu pelo fato de que os termos "Indústria 4.0" e "Sustentabilidade" não se cruzavam. O estudo acompanha os principais desafios da aplicação das tecnologias relacionadas à Indústria 4.0, incluindo a obrigatoriedade de fundação técnica e recursos de investimento, e os potenciais utilidade de sustentabilidade que a implementação pode traçar, visto que a redução do desempenho de poderes em todas as etapas da produção, e nossa resultante impacto ambiental. Por meio deste estudo, pode-se argumentar que independentemente dos fatores propostos a qual sugestionam afirmativamente ao desenvolvimento suportável das sociedades, a implantação de novas tecnologias empregando conceitos da Fábrica 4.0 até agora enfrenta perigos e incitação qual requerem maior aprendizado. O que a quarta subversão já conseguiu e o que ainda pode ser alcançado.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Sustentabilidade , Tecnologias e recursos.

ABSTRACT

This work is a critical analysis of the impacts of the implementation of Industry 4.0 on sustainability. This study was designed based on an investigation of existing studies, using selection, eligibility and inclusion criteria as guidelines for the PRISMA methodological technique, a preferred reporting item for systematic reviews and meta-analyses. The choice of two texts in the information system was due to the fact that the terms "Industry 4.0" and "Sustainability" did not intersect. The study follows the main challenges of applying technologies related to Industry 4.0, including the mandatory technical foundation and investment resources, and the potential sustainability benefits that the implementation can

bring, given that the reduction in the performance of powers at all stages of production, and our resulting environmental impact. Through this study, it can be argued that regardless of the proposed factors that positively suggest the bearable development of societies, the implementation of new technologies using Factory 4.0 concepts so far faces dangers and challenges that require greater learning. What the fourth subversion has already achieved and what can still be achieved

Keywords: Industry 4.0, Sustainability, Technologies, and Resources.

1 INTRODUÇÃO

A Quarta Revolução Industrial é um conceito que abrange o iniciante das tecnologias inteligentes e informacionais, bem como novas formas de compartilhamento de dados (Schwab, 2016).

Essas tecnologias inovadoras estão permitindo níveis mais altos de eficiência de produção em diversos setores médicos (Manyika et al., 2015). Entre os exemplos notáveis de tecnologias da Quarta Revolução Industrial, pode-se citar a conectividade dos dispositivos, que permite a comunicação e troca de informações entre equipamentos e sistemas em tempo real, o processamento de dados em servidores remotos, que possibilita o armazenamento e análise de grandes volumes de informação, a manufatura aditiva, que permite a produção de peças e produtos de jeito mais rápida e customizada, e um grande conjunto de dados , que possibilita a coleta, armazenamento e análise de dados em grande escala para fins diversos (Manyika et al. , 2015).

A Produção Mais Limpa é uma estratégia que busca minimizar os efeitos ambientais provocados pelas atividades industriais. É uma filosofia que busca a redução ou eliminação de resíduos, emissões e poluentes no processo produtivo, além de incentivar a conservação dos elementos naturais. Essa estratégia pode ser aplicada em todas as fases do período produtivo, desde o projeto até o descarte final, e envolve a implementação de práticas mais sustentáveis e eficientes, que beneficiam não apenas a biodiversidade, mas também a própria indústria, que pode reduzir seus custos e aumentar sua competitividade.

O advento de métodos e máquinas inteligentes levou ao estabelecimento de "fábricas inteligentes" - instalações de fabricação modernas que se conectam por meio de redes avançadas, como IoT (Internet das coisas). Essas fábricas operam coletando e analisando dados de dois sistemas operacionais em tempo imediato. Isso permite uma intervenção imediata caso algum instrumento ou equipamento se comporte de forma inesperada, desviando dos

parâmetros definidos. Com a expectativa de mais de 26 bilhões de mercadorias e elementos interconectados pela Internet este ano, as tecnologias da Indústria 4.0 devem ser amplamente adotadas nesta nova era da manufatura.

Um dos obstáculos mais significativos enfrentados pela sociedade é a urgência de satisfazer a crescente demanda mundial de forma sustentável. Como tal, as organizações estão buscando ativamente maneiras de agregar valor aos seus bens e atividades. O tema Indústria 4.0 atraiu a atenção de inúmeros pesquisadores e autores da ciência da informação, que estão realizando revisões abrangentes da literatura com o propósito de entender o fenômeno e identificar soluções.

Segundo Sarkis (2020), esta pesquisa tem como objetivo analisar a sustentabilidade em três dimensões fundamentais: a dimensão financeira, que se refere à viabilidade econômica de um projeto ou iniciativa; a dimensão comunitária, que se refere ao impacto social de uma iniciativa em uma comunidade; e a dimensão ecológica, que se refere ao impacto ambiental de uma iniciativa. O estudo destaca a urgência das organizações adotarem tecnologias avançadas para garantir a sustentabilidade. A incorporação de tecnologias avançadas é uma estratégia importante para alcançar a sustentabilidade na indústria e em outras áreas. As tecnologias da indústria 4.0, como o sistema conectados, automação inteligente, a robótica avançada e a fabricação aditiva, podem ajudar as empresas a alcançarem seus objetivos de sustentabilidade, melhorando a eficiência energética, a redução de resíduos e emissões, e aumentando a transparência na cadeia de suprimentos (Liao et al., 2020). O estudo destaca a urgência das organizações adotarem das tecnologias avançadas, para garantir a sustentabilidade.

Nesse contexto, este artigo visa apresentar os conceitos e as principais práticas da Produção Mais Limpa e sua contribuição para a indústria. Além disso, serão abordados os desafios e as oportunidades para a adoção dessa estratégia nas empresas, bem como os benefícios socioambientais e econômicos a qual deseja proporcionar. Com isso, espera-se colaborar com a disseminação da cultura da sustentabilidade na indústria e para a edificação de um futuro mais justo e equilibrado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Por ser um conceito recente, o setor industrial 4.0 demostra riscos e desafios poucos conhecidos, especialmente no que se refere a sustentabilidade. Pham et al. (2019) apontam que o verdadeiro impacto do setor industrial 4.0 na preservação do meio ambiente ainda é incerto, devido à falta de foco nos riscos, o que requer mais estudos. Alguns dos desafios inclui a

compatibilidade dos modelos e suportes governamentais, conforme aponta por Bonilla et al. (2018). Moktadir et al. (2018) propôs um jeito de identificar os principais desafios da implementação da indústria 4.0 usando o método Best-Worst (BWM). É preciso realizar, mas pesquisas para entender os desafios e perigo correlatos a implementação de novas tecnologias no setor industrial para garantir que ela seja empregada de forma sustentável.

Conforme apontado pela pesquisa de Pham et al (2019), os principais desafios da indústria 4.0 inclui a falta de técnica de base, o alto investimento necessário, a falta de oportunidade de emprego, à falta de uma estratégia clara para a indústria 4.0, os efeitos ambientais adversos, a complexibilidade da reconfiguração dos modelos de produção e seleção de gestores protegidos. Além disso, normas obstinadas ou obsoletas e restrições socioculturais são obstáculos a serem superados.

Segundo a conclusão de Dalenogare, Benítez, Ayala e Frank (2018), as empresas em crescimento tendem a investir em tecnologia de baixo custo, como rastreamento e gerenciamento, em vez de instrumentos mais abrangentes para coleta e análise de dados. Isso pode resultar em uma situação na qual os dados são coletados, mas não de maneira que incentive a processo decisório.

Os pesquisadores frequentemente citam um desafio relacionado às preocupações ambientais na adoção da indústria 4.0, pois ainda não há consenso sobre se os benefícios ambientais da indústria 4.0 superarão seus possíveis impactos ambientais. Assim como a utilização de matérias-primas para a fabricação de novas máquinas necessárias para implementar a indústria 4.0, precisamente como o despojamento de maquinários obsoletos e os altos custos associados a toda essa nova tecnologia. Kristofferson, Blomsma, Mikalef e Li (2020) exploram questões relacionadas a substituição de máquinas ultrapassadas, produção de novas máquinas, utilização de energia e materiais, e concluem que a reciclagem deve ser construída ao processo para evitar danos ecológicos e economizar energia. Eles pró resolvidos que beneficiam os gerentes de fábrica, governamentais e organizações.

Para alcançar o crescimento sustentável, a indústria precisa considerar as restrições ambientais, sendo a alta demanda por energia uma das principais pressões. Quando uma inovação substitui uma tarefa realizada por humanos, pode resultar em uma grande quantidade de dimensões, conforme indicado em uma pesquisa que aponta que a força de trabalho pode ser substituída por máquinas geradas na eliminação de vários empregos.

INTERFACE TECNOLÓGICA

2.1 Desafios para a admissão na Industria 4.0 Visando á Sustentabilidade.

A Indústria 4.0 traz consigo diversos desafios em prol da sustentabilidade, principalmente no que diz respeito à necessidade de equilibrar a eficiência produtiva com a redução do impacto ambiental. Alguns dos principais desafios que enfrenta ao se envolver com a Indústria 4.0 para a sustentabilidade são:

Gestão de resíduos e emissões: com as tecnologias de automação e digitalização é capaz de trazer avanços significativos na gestão dos processos produtivos, mas ainda é preciso garantir que a redução da emissão e a minimização da produção de resíduos sejam prioridades no processo de tecnologia avançadas.

Consumo de energia: A Indústria 4.0 exige a utilização de metodologia e equipamentos mais complexos e interconectados, o que pode aumentar significativamente o consumo de energia nas fábricas. É essencial garantir que o uso sustentável de recursos seja uma prioridade na implementação da quarta revolução industrial para minimizar a consequências ambiental e reduzir os custos operacionais.

Falta de padronização: A Indústria 4.0 ainda não possui um padrão único de implementação global, o que pode acarretar dificuldades na gestão de metodologia e implantação de sistemas de gestão ambiental. É importante garantir e que as organizações estejam preparadas para enfrentar com essa falta de padronização e sejam capazes de adotar soluções customizadas e adaptáveis.

Necessidade de treinamento: A implementação da Indústria 4.0 exige que os empregados estejam preparados para enfrentar com novas tecnologias e sistemas de automação. É importante assegurar o investimento na formação e qualificação dos colaboradores para garantir a eficiência produtiva e a preservação do meio ambiente.

Custos elevados: A implantação da Indústria 4.0 exige investimentos significativos em tecnologia e equipamentos, o que pode gerar altos custos destinado á empresas. É importante que as empresas avaliem os custos e benefícios da implementação com as tecnologias de automação e digitalização para garantir que os investimentos estejam alinhados com a sustentabilidade e a eficiência produtiva.

Em resumo, a implementação da Indústria 4.0 traz consigo diversos desafios em prol da sustentabilidade, mas é possível superá-los adotando soluções adaptáveis e personalizadas, investindo em treinamento e capacitação, priorizando ao uso sustentável de recursos e a gestão

ambiental. É essencial que as organizações estejam preparadas para enfrentar esses desafios e sejam capazes de apoiar uma transformação sustentável da manufatura.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para implementar as técnicas de Produção Mais Limpa (PML) com o apoio da Indústria 4.0, é imperativo seguir procedimentos metodológicos alinhados aos critérios de inclusão estabelecidos. A etapa inicial requer a realização de uma avaliação ambiental abrangente da empresa, priorizando estudos relacionados à Indústria 4.0 e sustentabilidade. Identificam-se, nesse contexto, os principais processos de produção que impactam negativamente o meio ambiente, ao mesmo tempo em que se buscam oportunidades de melhoria.

A partir do diagnóstico ambiental, a empresa deve estabelecer objetivos e metas SMART (Específicos, Mensuráveis, Atingíveis, Relevantes e Temporais), garantindo que esses se alinhem à análise crítica dos impactos da Indústria 4.0 na sustentabilidade. Essas metas devem visar, de maneira específica, a redução do consumo de energia, água e matérias-primas, bem como a mitigação das emissões atmosféricas e resíduos.

A etapa inicial na implementação da PML com suporte da Indústria 4.0 concentra-se na definição clara de objetivos e metas. A Internet das Coisas (IoT), uma tecnologia proeminente da Indústria 4.0, possibilita a interconectividade de dispositivos e equipamentos, sendo crucial para a coleta de dados em tempo real. Essa abordagem baseada em informações precisas e atualizadas é fundamental para a análise crítica dos resultados obtidos, conforme preconizado na técnica PRISMA.

O monitoramento em tempo real do consumo de matéria-prima, água e energia é facilitado pela IoT, permitindo a identificação de áreas potenciais de desperdício e caminhos para redução, o que está em consonância com os critérios de exclusão relacionados a estudos que não abordam diretamente a relação entre Indústria 4.0 e sustentabilidade. Além disso, a introdução de sistemas de controle de processo altamente eficientes, suportados pela Automatização Cognitiva, contribui para a redução de emissões de poluentes e minimização da geração de resíduos, aspectos essenciais na análise crítica dos impactos da Indústria 4.0 na sustentabilidade.

A Automatização Cognitiva, com sua capacidade de processar extensos dados e reconhecer padrões e tendências por meio de Inteligência Artificial (IA), emerge como um recurso valioso na implementação da PML. Essa abordagem, conforme preconizado pela técnica PRISMA, otimiza os processos de produção, identificando oportunidades de melhoria

que podem escapar à análise manual, especialmente em estudos recentes que contribuem para a revisão crítica da literatura sobre a relação entre Indústria 4.0 e sustentabilidade.

3.1 Métodos para aplicação da Produção Mais Limpa com a ajuda da Indústria 4.0

Para incorporar a Produção Mais Limpa na estrutura da Indústria 4.0, uma variedade de materiais e técnicas devem ser empregadas. Alguns exemplos notáveis incluem:

A produção mais limpa com a ajuda da Indústria 4.0 requer a utilização de uma série de materiais e métodos específicos. Dentre eles destaca-se :

Software de Gestão Ambiental: É fundamental contar com um software que possibilite a gestão ambiental corporativa de forma integrada e eficiente. Este software deve ser capaz de coletar, armazenar e analisar dados ambientais em tempo real, possibilitando a identificação de oportunidades de melhoria e a definição de metas de redução.

Dispositivos IoT: Os dispositivos IoT são essenciais para implementar PML com a ajuda da Indústria 4.0. Esses equipamentos permitem a captura de informações em tempo real sobre o consumo de matérias-primas, água e energia, além de possibilitar o monitoramento das emissões de poluentes e geração de resíduos.

Sistemas de controle de processos: É necessário introduzir sistemas de controle de processos produtivos mais eficientes e precisos que permitam a redução da emissão de poluentes e da geração de resíduos. Esses sistemas podem ser controlados usando dispositivos IoT e sistemas avançados de automação.

Automação Inteligente: A automação inteligente pode ser utilizada para análises extensivas de dados ambientais, possibilitando a identificação de padrões e tendências que não seriam possíveis de identificar mediante análise manual de dados.

Equipe de Gestão Ambiental: É fundamental contar com uma equipe de gestão ambiental qualificada e dedicada à implantação do PML. Esta equipe deverá ser responsável pelo diagnóstico ambiental da empresa, definição de metas e objetivos, implementação de medidas de redução e monitoramento dos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da aplicação da Produção Mais Limpa na indústria mostram a eficiência dessa técnica para diminuir os Prejuízos ambientais e para aperfeiçoar a eficiência dos

processos produtivos. Além disso, a P+L tem se mostrado uma estratégia importante para a promoção da sustentabilidade e da competitividade das organizações. Ao investir em técnicas de produção mais limpas, as companhias podem obter diversos benefícios, como diminuição do consumo de energia e água, geração e expulsão de detritos reduzidos e aperfeiçoamento e o nível do produto e dos processos de produção. Por exemplo, uma companhia pode adotar práticas para aproveitar melhor os bens ambientais, como a reciclagem e a reutilização de produtos, ou ainda diminuir a produção de lixo com ajuda da eliminação de processos desnecessário.

A adoção de técnicas de produção limpa não só tem efeitos positivos sobre o ecossistema, mas também pode trazer benefícios econômicos significativos destinado as empresas. Essas vantagens podem incluir despesas reduzidas com matérias-primas e energia, custos reduzidos associados à remoção de resíduos, maior produtividade e melhor percepção pública da empresa.

Os questionamentos são os mesmos referente ao interesses ambientais da Indústria 4.0, é um conceito recente e ainda há muitas dúvidas a serem investigadas. Isso é um componente da Indústria 4.0, que ainda não foi totalmente compreendida quanto ao potencial que tem para melhorar a sustentabilidade. Embora não totalmente explorada, a pesquisa e a literatura existentes ainda descrevem os centrais interesses de sustentabilidade podendo ser alcançados com a implementação da Indústria 4.0. Em estudos, a adoção da Indústria 4.0 tende a melhorar aspetos sociais, a produtividade e os ambientes organizacionais e de trabalho. Isto acontece, pois, partes do trabalho são mais pesadas a serem repassadas à máquina, ou colocam o trabalhador em menor risco.

Adiante disso, destaca vantagens como adaptabilidade de produto e serviço eficaz de recursos. (Mueller et aí. 2018) sugeriu que poderíamos aumentar a flexibilidade das ocupações corporativas, como home offices e outros métodos de trabalho remoto, para diminuir o e estresse dos funcionários, mantendo a sua saúde e aumentando a produtividade.

(Ordières-Meré et ai. 2020) também aponta para a possibilidade de maior intercâmbio de informações entre os funcionários, decorrente do progresso na Indústria 4.0 e da criação de engenharias que aumentem a eficiência ou usem o compartilhante de conhecimento como uma vantagem. Como mostrado nos estudos de Settembre Bluundo (2019), os dois principais benefícios para a natureza são a economia de recursos. Conquistado mediante o acompanhamento em tempo real de cada processo produtivo.

Cucchi (2020) enfatiza o valor de dois sensores que estão ligados à infraestrutura da administração. Eles permitem um estudo mais eficiente ao identificar falhas de produto e separar processos para desaproveitamento de materiais e energia. Dois impactos ambientais são mencionados. Os ambientalistas argumentam que as tecnologias da Indústria 4.0 podem diminuir o consumo de energia e de recursos nos processos produtivos.

Além de analisar as ligações de carbono, a cadeia de fornecimento também poderá reduzir os resíduos e as emissões de dióxido de carbono. A Cleantech da Indústria 4.0 é uma tecnologia que visa procedimentos de produção inteligentes para minimizar desperdícios e reduzir efeitos prejudiciais ao ambiente natural (Moktadir et al., 2018; Oláh, Aburumman, Popp, Khan, Haddad & Kitukutha, 2020)

5 CONCLUSÃO

Ao tomar conhecimento das inovações tecnológicas que levaram à introdução da Indústria 4.0, pode-se apontar os grandes benefícios do desenvolvimento sustentável, que envolve perspectivas econômicas, sociais e ambientais, como a melhoria da segurança e do conforto do trabalhador, a preservação de recursos naturais, a energia e as emissões. Dessa forma, não pode ignorar os perigos e desafios apresentados pela Quarta Revolução Industrial.

A adoção dessa abordagem leva a redução dos efeitos ecossistêmico e econômicos, além de trazer interesses para a imagem da empresa perante a sociedade.

Muitos apontaram os problemas que impediram pesquisas ligadas à Indústria 4.0 e sustentabilidade. É um conceito recente, então há poucas pesquisas. Os cuidados de casos que revelam os efeitos práticos da Indústria 4.0 são escassos, incomparável que se limitam a pequenas áreas de produção. Muitas inovações tecnológicas recentes continuam sem respaldo suficiente para comprovar seus benefícios.

Isso porque eles apresentam melhorias significativas na Indústria 4.0. Ao fazer isso, mostra-se que ainda há uma grande lacuna de estudos sobre o impacto da Indústria 4.0 na sustentabilidade, e principalmente sobre as experiências de implementação que vem sendo feita, para que resultados reais possam ser alcançados... Esses resultados fazem com que instituições que investigam a probabilidade de se habituar a esse recente ambiente tomem decisões mais seguras, bem como apoiar o desenvolvimento de políticas públicas que favoreçam ou melhorem a situação.

INTERFACE TECNOLÓGICA

REFERÊNCIAS

CUCCHI, M. Indústria 4.0: um caminho sustentável para a digitalização. Sustainability, 12(11), 4363, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/11/4363. Acesso em: 13 set. 2023.

KRISTOFFERSON, L. et al. Indústria 4.0 e economia circular: uma agenda de pesquisa proposta e percepções empíricas de uma revisão de escopo. Sustainability, 12(6), 2279, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/6/2279. Acesso em: 15 set. 2023.

MANYIKA, J. et al. Desbloqueando o potencial da Internet das Coisas. McKinsey Global Institute, 2015. Disponível em: https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world. Acesso em: 12 set. 2023.

MOKTADIR, M. A. et al. Identificação de desafios críticos na implementação da Indústria 4.0 usando o método Best-Worst. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 97(9-12), 3451-3462, 2018. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-018-1998-4. Acesso em: 10 set. 2023.

OLÁH, J. et al. Indústria 4.0 e Sustentabilidade: Uma Revisão da Literatura e Implicações para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 6(4), 154, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2199-8531/6/4/154. Acesso em: 09 set. 2023.

ORDIÈRES-MERÉ, J. et al. Indústria Sustentável 4.0: Uma Visão Geral. Sustainability, 12(22), 9388, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/22/9388. Acesso em: 15 set. 2023.

PHAM, T. H. et al. Revolução industrial sustentável 4.0: Uma análise bibliométrica. Sustainability, 11(23), 6571, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/11/23/6571. Acesso em: 12 set. 2023.

SCHWAB, K. A Quarta Revolução Industrial. Fórum Econômico Mundial, 2016. Disponível em: https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/. Acesso em: 18 set. 2023.

SETTEMBRE-BLUNDO, D. Indústria 4.0 e Sustentabilidade Ambiental: Uma Revisão de Escopo. Journal of Industrial Ecology, 23(3), 563-582, 2019. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12861. Acesso em: 19 set. 2023.

NBR 6023:2018 – Referências:

CUCCHI, M. Indústria 4.0: um caminho sustentável para a digitalização. Sustainability, 12(11), 4363, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/11/4363. Acesso em: 13 set. 2023.

KRISTOFFERSON, L. et al. Indústria 4.0 e economia circular: uma agenda de pesquisa proposta e percepções empíricas de uma revisão de escopo. Sustainability, 12(6), 2279, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/6/2279. Acesso em: 15 set. 2023.

MANYIKA, J. et al. Desbloqueando o potencial da Internet das Coisas. McKinsey Global Institute, 2015. Disponível em: https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world. Acesso em: 12 set. 2023.

MOKTADIR, M. A. et al. Identificação de desafios críticos na implementação da Indústria 4.0 usando o método Best-Worst. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 97(9-12), 3451-3462, 2018. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-018-1998-4. Acesso em: 10 set. 2023.

OLÁH, J. et al. Indústria 4.0 e Sustentabilidade: Uma Revisão da Literatura e Implicações para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 6(4), 154, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2199-8531/6/4/154. Acesso em: 09 set. 2023.

ORDIÈRES-MERÉ, J. et al. Indústria Sustentável 4.0: Uma Visão Geral. Sustainability, 12(22), 9388, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/22/9388. Acesso em: 15 set. 2023.

PHAM, T. H. et al. Revolução industrial sustentável 4.0: Uma análise bibliométrica. Sustainability, 11(23), 6571, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/11/23/6571. Acesso em: 12 set. 2023.

SCHWAB, K. A Quarta Revolução Industrial. Fórum Econômico Mundial, 2016. Disponível em: https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/. Acesso em: 18 set. 2023.

SETTEMBRE-BLUNDO, D. Indústria 4.0 e Sustentabilidade Ambiental: Uma Revisão de Escopo. Journal of Industrial Ecology, 23(3), 563-582, 2019. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12861. Acesso em: 19 set. 2023.