

INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NAS FERRAMENTAS DE MANUTENÇÃO

INTEGRATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN MAINTENANCE TOOLS

Gilson de Jesus Paulino José - gilson.jose@fatectq.edu.br
Faculdade de tecnologia de Taquaritinga – Taquaritinga – São Paulo – Brasil

Arthur Carrasqueira - arthur.carrasqueira@fatectq.edu.br
Faculdade de tecnologia de Taquaritinga – Taquaritinga – São Paulo – Brasil

DOI: 10.31510/infa.v22i1.2199

Data de submissão: 05/04/2025

Data do aceite: 26/06/2025

Data da publicação: 30/06/2025

RESUMO

O objetivo geral deste estudo é investigar os impactos da integração das tecnologias digitais nas ferramentas de manutenção, sobre a ótica de eficiência operacional e a redução de custos. Abordar o conceito e evolução histórica da Indústria 4.0; identificando tecnologias digitais mais aplicadas nas ferramentas de manutenção; analisar como a digitalização contribui para a redução de custos operacionais em processos de manutenção. O estudo foi realizado por meio de busca on-line com levantamento bibliográfico de reproduções científicas, no período de 2019 a 2024, disponíveis em artigos na Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Google acadêmico. Os resultados da pesquisa apontam como a integração das tecnologias digitais nas ferramentas de manutenção melhoram significativamente a eficiência operacional e reduzem custos, alinhando-se às premissas da Indústria 4.0. Foi possível identificar que soluções como IoT inteligência artificial e análise de dados permitem um monitoramento mais preciso e preditivo dos equipamentos, minimizando falhas inesperadas. Além disso, observou-se que a digitalização da manutenção não apenas otimiza os processos produtivos, mas também contribui para a segurança no trabalho e a sustentabilidade industrial. Como conclusão, percebe-se que, apesar dos desafios de implementação, as empresas que investem nessas tecnologias ganham competitividade e reduzem desperdícios. Para pesquisas futuras, sugere-se explorar os impactos dessas inovações em pequenas e médias empresas, bem como aprofundar estudos sobre cibersegurança na Indústria 4.0.

Palavras-chave: Inteligência artificial. Indústria 4.0. Manutenção. Ferramentas tecnológicas

ABSTRACT

The general objective of this study is to investigate the impacts of integrating digital technologies into maintenance tools, specifically regarding operational efficiency and cost reduction. The specific objectives of this study are: to address the concept and historical evolution of Industry 4.0; to identify the most applied digital technologies in maintenance tools; and to analyze how digitalization contributes to reducing operational costs in maintenance processes. The study was conducted through an online search with a bibliographic review of scientific publications from 2019 to 2024, available in articles from the Scientific Electronic Library Online (Scielo) and Google Scholar. The following keywords were used in the search: artificial intelligence, Industry 4.0, maintenance, technological tools. The research results confirmed that the integration of digital technologies into maintenance tools significantly improves operational efficiency and reduces costs, aligning with the premises of Industry 4.0. It was possible to identify that solutions such as IoT, artificial intelligence, and data analysis enable more precise and predictive equipment monitoring, minimizing unexpected failures. Furthermore, it was observed that the digitalization of maintenance not only optimizes production processes but also contributes to workplace safety and industrial sustainability. In conclusion, despite implementation challenges, companies that invest in these technologies gain competitiveness and reduce waste. For future research, it is suggested to explore the impact of these innovations on small and medium-sized enterprises, as well as to further study cybersecurity in Industry 4.0.

Keywords: Artificial Intelligence. Industry 4.0. Maintenance. Technological Tools.

1. INTRODUÇÃO

A integração de tecnologias digitais nas ferramentas de manutenção tem se mostrado um dos principais caminhos para otimizar processos industriais e reduzir custos operacionais. A digitalização, que envolve o uso de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Big Data e sistemas de monitoramento remoto, tem transformado a maneira como as manutenções são realizadas nas indústrias.

No entanto, apesar dos avanços, muitas empresas ainda enfrentam desafios na implementação efetiva dessas tecnologias, seja por questões de custo, adaptação organizacional ou falta de conhecimento técnico.

O objetivo geral deste estudo é investigar os impactos da integração das tecnologias digitais nas ferramentas de manutenção, especificamente no que diz respeito à eficiência operacional e à redução de custos. Os visando abordar o conceito e a evolução histórica da Indústria 4.0; identificando as tecnologias digitais mais aplicadas nas ferramentas de manutenção; analisar como a digitalização contribui para a redução de custos operacionais em processos de manutenção.

A realização deste estudo se baseia no fato de que, com o avanço da digitalização, muitos setores da indústria têm se beneficiado da melhoria na gestão de manutenção, contudo,

há uma lacuna de conhecimento sobre o impacto real dessas tecnologias na prática e como elas efetivamente contribuem para a redução de custos. Esta é uma pesquisa qualitativa com uma abordagem essencial na investigação científica, concentrando uma compreensão profunda para interpretação dos fenômenos estudados, explorando a complexidade e riqueza dos contextos sociais, culturais e individuais. (Guerra, 2024).

A integração de tecnologias digitais das ferramentas de manutenção tem um impacto positivo na eficiência operacional e contribui para a redução de custos nas empresas industriais. A adoção de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e sistemas de monitoramento remoto pode otimizar os processos de manutenção, aumentando a precisão e a rapidez na identificação e resolução de falhas, resultando em uma diminuição dos tempos de inatividade e melhor aproveitamento dos recursos.

2. A REVOLUÇÃO DIGITAL NA MANUTENÇÃO: IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA EFICIÊNCIA OPERACIONAL E REDUÇÃO DE CUSTOS

2.1 Breves considerações sobre a Indústria 4.0

As indústrias são a parte da economia que produz bens materiais altamente mecanizados e automatizados. No entanto, o conceito de indústria remonta ao final do século XVIII, com a primeira revolução industrial (Indústria 1.0), caracterizada pela introdução de sistemas mecânicos de manufatura, utilizando água e energia a vapor. Quase um século depois, em 1870, a eletrificação e a divisão do trabalho levaram a uma segunda revolução industrial (Indústria 2.0), evidenciada pela produção em massa e linhas de montagem que utilizavam energia elétrica (Cobo, 2018).

Após a 2ª revolução industrial, engenheiros industriais começaram a trabalhar no desenvolvimento de métodos para otimizar a produção na busca de um equilíbrio entre redução de custos e aumento de qualidade. Como resultado da produção em massa, as máquinas e seus componentes passaram a sofrer maior desgaste e, conseqüentemente, maior degradação, tornando sua mitigação uma preocupação crescente a fim de garantir uma produção contínua e sem falhas. (Toazza; Sellitto, 2019)

Na sequência, a necessidade de aumentar a eficiência do processo de produção levou à terceira revolução industrial (Indústria 3.0) que foi moldada pela introdução de sistemas eletrônicos e a automação que representava a base de todas as mudanças de paradigma de produção (Santos et al., 2018). Os desenvolvimentos contínuos dos equipamentos eletrônicos

como o controlador lógico Programável CLPS, o núcleo da revolução industrial mais recente e atual (Indústria 4.0) (Maia, 2020).

Barbosa e Aroca (2021), apresentam os seguintes princípios: interoperabilidade, que é a capacidade de dois sistemas se comunicarem reciprocamente; e a virtualização identificada como a desmaterialização de procedimentos e processos físicos (por exemplo, sensores); descentralização que visa habilitar máquinas com capacidade de tomada de decisão.

2.2 Tecnologias da indústria 4.0 que mudaram o paradigma da manutenção

Por trás da quarta revolução industrial I4.0 a interligação a rede através da internet, como se fosse uma comunidade colaborativa, para coletar, trocar e analisar dados por meio de circuitos integrados de *feedback*, controlados por computador em busca de soluções ideais e prever comportamentos futuros. Nesse sentido, as tecnologias permitiram que pessoas, máquinas e outros objetos se conectassem e, assim, foi possível construir um modelo de produção altamente flexível, denominado Sistema Ciber-Físico de Produção (CPPS), que consiste em transformar a produção apoiada em processos físicos na produção sustentada pelo uso de CLPS (Santos et al., 2018).

Por outro lado, os sensores desempenham um papel fundamental na coleta de dados do mundo físico para o ciberespaço, funcionando como atuadores que transmitem informações de *feedback* geradas do nível cibernético para o espaço físico novamente, sendo o último *feedback* obtido por meio de habilidades computacionais e análise de dados e gestão (Pires; Okada, 2020).

Naturalmente, esses sistemas são complementados com outros recursos, permitem a transmissão de dados através das tecnologias de comunicação de curto alcance, como comunicação de campo próximo (NFC) ou identificação por radiofrequência (RFID). Sendo possível que dispositivos físicos sejam conectados entre si ou por redes (por exemplo, IoT) (Lima et al., 2019).

No domínio da indústria, porém, o desenvolvimento de técnicas e tecnologias de como a análise de Big Data visa promover a interpretação de dados, que são geralmente coletados de com ampla variedade de fontes heterogêneas (por exemplo, sensores, temperatura, tensões), aumentando sua complexidade (Pires; Okada, 2020).

O conceito de Internet of Services (IoS), às vezes identificada como uma extensão da IoT, também está envolvida na troca de informações, agregando à produção, uma visão focada em serviços (Furstenau et al., 2018). Portanto, fica evidente que as tecnologias mencionadas

não estão apenas mudando o paradigma do processo produtivo, mas também, impactando toda a cadeia de suprimentos, do transporte à logística, passando pela saúde, e até mesmo manutenção e diagnóstico (Cobo, 2018).

Com isso, o conceito de manutenção encontra-se na centralidade do mundo industrial. Empregando a tipologia mais conhecida seja a execução até a falha (R2F) ou, também conhecida como manutenção corretiva (CM) (Furstenau et al., 2018). Este tipo de manutenção consiste essencialmente em consertar uma máquina somente quando uma determinada falha for detectada, o que normalmente implica que esse equipamento deixará de produzir quando estiver sendo consertado todo (Toazza; Sellitto, 2019)

Sua vantagem representa que a máquina ou componente excederá o período máximo de uso que o fornecedor estipulou. Porém, não há como evitar o desligamento não planejado da máquina e a consequente interrupção da produção (Reis; Denardin; Milan, 2018). Embora o conceito de fábrica inteligente tenha evoluído ao longo do tempo, sendo hoje altamente digitalizado e interconectado, suportado por tecnologias emergentes de informação e comunicação (TIC) que envolvem o funcionamento dos chamados sistemas ciberfísicos (CPS). (Reis; Denardin; Milan, 2018).

Nesse ambiente, os principais componentes costumam ser robotizados e conectados por meio de tecnologias complementares, como a Internet das Coisas (IoT), que possibilita medição, sensoriamento, controle e comunicação em todos os processos de manufatura. Com isso, espera-se que as instalações possam ser gerenciadas em tempo real e com a flexibilidade necessária para atender às mudanças contínuas (Barbalho, 2019).

A visão de uma fábrica inteligente se viabiliza quando as máquinas funcionam corretamente, com precisão e eficiência desejadas. Sendo o papel crucial da manutenção, tem a cumprir uma delicada tarefa de manter as máquinas e seus componentes operacionais (Wollschlaeger; Sauter; Jasperneit, 2019).

Com a chegada da manutenção preditiva (MdP) e da manutenção baseada na condição (CBM) no contexto da indústria 4.0, todo o processo mudou, criando novos desafios e oportunidades. Ao mesmo tempo, espera-se que a produtividade continue crescendo por meio da previsão de falhas e consequente maximização do ciclo de vida das máquinas (Veldman et al., 2019)

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Constituiu-se de uma revisão de literatura. O estudo foi realizado por meio de busca online com levantamento bibliográfico de reproduções científicas, no período de 2019 a 2024, disponíveis em artigos na Scientific Electronic Library Online (Scielo) e Google acadêmico. Na busca foram utilizadas as seguintes palavras-chaves: inteligência artificial; manutenção; ferramentas tecnológicas. Os critérios de inclusão foram: a publicação possuir como temática relacionada à temática proposta, estar disponível eletrônica e gratuitamente na íntegra, ser classificado como artigo original. Foram excluídos: estudos que possuem duplicatas ou que tivessem uma abordagem diferente do tema proposto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A integração das tecnologias digitais nas ferramentas de manutenção tem ganhado destaque nas últimas décadas, especialmente com o advento da Indústria 4.0. Esse movimento representa uma nova era de transformação digital que visa a automação e a otimização dos processos industriais.

A digitalização da manutenção tem mostrado potencial significativo para melhorar a eficiência operacional e reduzindo custos relacionados a falhas, paradas não planejadas e a manutenção corretiva. As ferramentas digitais, como sensores inteligentes, Internet das Coisas (IoT) e sistemas de big data, permitem o monitoramento em tempo real de equipamentos, possibilitando intervenções mais assertivas e planejadas (Barbalho, 2019).

Os processos industriais passam a ser não apenas automatizados, mas também interconectados, gerando uma rede de informações em tempo real que pode ser acessada e analisada para tomar decisões rápidas e informadas. Essa evolução tem transformado o papel da manutenção, que deixou de ser reativa para se tornar preditiva e até preventiva, oferecendo um controle mais preciso sobre as operações industriais (Cobo, 2018; Muhuri et al., 2019).

Entre as tecnologias digitais mais aplicadas nas ferramentas de manutenção, destaca-se a IoT, que possibilita a coleta de dados em tempo real por meio de sensores instalados em máquinas e equipamentos. Essa conectividade permite que as empresas monitorem as condições operacionais das máquinas constantemente e identifiquem falhas antes que elas ocorram.

Além disso, o uso de algoritmos de inteligência artificial para análise de dados e a implementação de sistemas de manutenção preditiva são cada vez mais comuns. Essas tecnologias permitem a detecção de padrões que indicam falhas iminentes, o que possibilita a

programação de manutenção antes que os problemas se agravem e resultem em paradas não programadas (Civerchia et al., 2019; Wollschlaeger et al., 2019).

A digitalização das ferramentas de manutenção também tem impacto direto na redução de custos operacionais. Ao adotar a manutenção preditiva, as empresas podem diminuir significativamente os gastos com manutenções corretivas, que são, em geral, mais dispendiosas devido à interrupção não planejada da produção e ao custo com peças sobressalentes. O monitoramento contínuo e o diagnóstico precoce das falhas não só evitam que as máquinas quebrem, mas também permitem um gerenciamento mais eficiente dos estoques de peças e materiais, reduzindo o desperdício (Maia, 2020).

A redução do tempo de inatividade das máquinas também é um fator relevante na diminuição de custos operacionais. O uso de tecnologias digitais permite identificar com antecedência os problemas, agendando as manutenções de forma estratégica, sem comprometer a produção Jones; Comfort, 2019).

A automação do processo de monitoramento e diagnóstico reduz a necessidade de inspeções manuais e aumenta a precisão, permitindo que as equipes de manutenção se concentrem apenas nos problemas que realmente exigem intervenção. Esse aumento na eficiência da operação também é uma consequência da digitalização, que transforma a manutenção em uma atividade menos dispendiosa e mais precisa (Veldman et al., 2019).

O uso de ferramentas de análise de dados também contribui para a otimização dos processos de manutenção. A análise de grandes volumes de dados coletados dos sensores das máquinas permite detectar padrões de comportamento que indicam a necessidade de manutenção ou substituição de peças. A implementação de sistemas baseados em IA para a análise preditiva não só reduz os custos com manutenção corretiva, mas também ajuda na escolha de estratégias de manutenção que resultem em menos gastos com manutenção geral e com peças sobressalentes (Lima et al., 2019; Rangel et al., 2019).

Além disso, a manutenção preditiva mostra-se eficaz em ambientes com múltiplos equipamentos interconectados, como os encontrados em indústrias de grande porte. A utilização de tecnologias como a IoT e o big data, que são as bases da indústria 4.0, também conhecida como Quarta Revolução Industrial, reforçam o conceito ao desempenhar um papel fundamental na transformação da produção industrial em todo o mundo. Este paradigma representa a convergência de tecnologias avançadas para otimizar processos, aumentar a eficiência e melhorar a tomada de decisões

A implementação de sistemas de manutenção digitalizados também tem um impacto positivo na segurança operacional. A automação e a digitalização permitem que muitas tarefas de monitoramento sejam realizadas remotamente, o que minimiza a exposição dos trabalhadores a ambientes perigosos. Isso é especialmente importante em setores como o químico, petroquímico e alimentício, onde os riscos operacionais são elevados. A segurança das operações, ao ser otimizada pela digitalização, também reduz custos associados a acidentes de trabalho e indenizações (Santi, 2023).

A evolução das ferramentas de manutenção também reflete uma mudança de paradigma na maneira como as empresas gerenciam seus ativos. Com a digitalização, a manutenção deixa de ser uma função isolada e passa a ser integrada ao planejamento geral da produção. Isso permite que as decisões sobre a manutenção sejam tomadas com base em dados precisos e atualizados, o que melhora a eficácia do processo produtivo como um todo. Além disso, essa integração facilita a colaboração entre diferentes departamentos, como o de produção, engenharia e TI, criando uma abordagem mais integrada e eficiente para a gestão da manutenção (Daudt; Willcox, 2019).

Em termos de gestão financeira, a digitalização da manutenção permite que as empresas planejem melhor seus investimentos em infraestrutura e equipamentos. Com o uso de dados em tempo real sobre a saúde dos ativos, é possível decidir quando é o momento ideal para realizar investimentos em reparos ou substituições, evitando gastos excessivos com manutenções urgentes. Essa abordagem proativa no gerenciamento de ativos contribui para uma utilização mais eficiente dos recursos financeiros, o que reflete diretamente na redução de custos operacionais ao longo do tempo (Furstenau et al., 2018; Toazza; Sellitto, 2019).

A digitalização das ferramentas de manutenção também é uma resposta às crescentes demandas de competitividade e sustentabilidade. As empresas estão cada vez mais pressionadas a reduzir seu impacto ambiental e otimizar seus recursos. A manutenção digitalizada contribui para isso ao melhorar a eficiência energética dos equipamentos e ao reduzir o desperdício de materiais. Além disso, a redução do tempo de inatividade das máquinas contribui para uma maior produção com menores custos operacionais, o que torna as empresas mais competitivas em um mercado globalizado (Pires; Okada, 2020).

A integração das tecnologias digitais nas ferramentas de manutenção está, portanto, cada vez mais presente nas empresas que buscam otimizar seus processos, reduzir custos e aumentar a eficiência. A manutenção preditiva, a automação e a análise de dados são pilares dessa transformação digital, que tem o potencial de mudar profundamente as operações industriais.

Contudo, é importante ressaltar que, para que as empresas se beneficiem totalmente desses avanços, é necessário investir em tecnologia, treinamento de pessoal e, sobretudo, em segurança cibernética para proteger os dados coletados durante o processo de digitalização (Souza, 2022).

5. CONCLUSÃO

A pesquisa demonstrou que a integração das tecnologias digitais nas ferramentas de manutenção tem um impacto significativo na eficiência operacional e na redução de custos. Ao longo da investigação, foi possível perceber como a Indústria 4.0 vem transformando a forma como as empresas gerenciam seus ativos, tornando a manutenção mais inteligente, precisa e estratégica. Os avanços tecnológicos, como a Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial e análise de big data, permitem monitorar equipamentos em tempo real e prever falhas antes que elas ocorram, reduzindo desperdícios e melhorando a produtividade. Dessa forma, os objetivos propostos foram alcançados, pois conseguimos compreender não apenas a evolução histórica da Indústria 4.0, mas também identificar as principais tecnologias aplicadas e analisar seus impactos na economia das empresas.

Além da economia financeira, a digitalização da manutenção traz melhorias na segurança do trabalho e na sustentabilidade, aspectos que nem sempre são os primeiros a serem mencionados, mas que fazem uma grande diferença. A redução de falhas inesperadas evita acidentes, protege trabalhadores e otimiza o uso de recursos naturais, diminuindo desperdícios e consumo de energia. Esses benefícios mostram que a tecnologia não apenas torna os processos mais eficientes, mas também pode contribuir para práticas mais responsáveis e sustentáveis dentro das indústrias. Entretanto, a implementação dessas tecnologias ainda enfrenta desafios, como a necessidade de investimentos elevados, a capacitação de profissionais e a adaptação de empresas mais tradicionais a esse novo modelo de gestão.

Diante disso, há muitas oportunidades para pesquisas futuras. Uma delas seria aprofundar o estudo sobre o impacto da digitalização da manutenção em pequenas e médias empresas, que nem sempre possuem os recursos necessários para grandes investimentos tecnológicos. Outra possibilidade é investigar como a inteligência artificial pode evoluir para oferecer diagnósticos ainda mais precisos, reduzindo praticamente a zero as falhas inesperadas. Também seria interessante analisar os desafios da cibersegurança na Indústria 4.0, já que a digitalização traz benefícios, mas também expõe as empresas a novos riscos, como ataques virtuais e vazamento de dados sensíveis.

Por fim, a pesquisa mostrou que estamos em um momento de transição importante no setor industrial, em que a tecnologia tem o potencial de transformar não apenas a manutenção, mas toda a cadeia produtiva. A digitalização é um caminho sem volta, e as empresas que souberem se adaptar a essa nova realidade sairão na frente em competitividade, inovação e sustentabilidade. No entanto, mais do que apenas adotar novas ferramentas, é essencial que as organizações invistam na capacitação de seus profissionais para que saibam utilizar essas tecnologias da melhor forma possível. Afinal, a tecnologia sozinha não faz milagres – são as pessoas que, ao usá-la com inteligência, fazem a diferença.

REFERÊNCIAS

- Alves Antônio Santos RA, R. ANÁLISE DE FALHAS E MANUTENÇÃO PREDITIVA NA INDÚSTRIA 4.0 -. Revista ft, 25 nov. 2023.
- BARBALHO, S. Um observatório latino-americano da indústria 4.0. In: **Congresso brasileiro de inovação e gestão de desenvolvimento do produto**, 2019, Brasília, DF. Anais... Brasília/DF: 11 a 13 set. 2019.
- BARBOSA, G. F.; AROCA, R. V. An IoT-Based Solution for Control and Monitoring of Additive Manufacturing Processes. **Revista Produção On Line**, v.6, n. 158, p.2, 2021.
- CIVERCHIA, F.; et al. Industrial internet of things monitoring solution for advanced predictive maintenance applications. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 7, p. 4 – 12, 2019.
- COBO, M.J. Industry 4.0: a perspective based on bibliometric analysis. **Procedia Computer Science**, n. 139, p. 364-371, 2018.
- DAUDT, G.M.; WILLCOX, L.D. Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada. **BNDES Setorial**, n. 44, p. 5-45, set. 2019.
- FURSTENAU, L.B. et al. Uma abordagem da evolução dos conceitos inerentes da indústria 4.0: uma análise bibliométrica na base Scopus. In: Seminário de iniciação científica, 2018, Santa Cruz do Sul, RS. **Anais...** Santa Cruz do Sul/RS: 2018.
- GUERRA, A. de L. e R.; STROPARO, T. R.; COSTA, M. da; CASTRO JÚNIOR, F. P. de; LACERDA JÚNIOR, O. da S.; BRASIL, M. M.; CAMBA, M. Pesquisa qualitativa e seus fundamentos na investigação científica. **Revista de Gestão e Secretariado**, [S. l.], v. 15, n. 7, p. e4019 , 2024. DOI: 10.7769/gesec.v15i7.4019. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4019>. Acesso em: 25 mar. 2025.
- JONES, P; COMFORT, D. The Forest, Paper And Packaging Industry And Sustainability. **International Journal Of Sales, Retailing And Marketing**. v.6 n.1, p.3-21, 2019.
- LIMA, F.V.R. et al. Análise bibliométrica da produção científica relacionada à quarta revolução industrial (indústria 4.0). **Revista Produção On Line**, v. 9, n.1, 2019.

- MAIA, Diego Jareta. Ferramentas de qualidade aplicadas na estratégia de manutenção em empurradores de barcas. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 05, Ed. 08, Vol. 10, pp. 56-82. Agosto de 2020.
- MUHURI, P.K. et al. Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 78, 2019.
- PIRES, C. A.; OKADA, R. H. Manutenção preditiva: estratégia de produção e redução de custos. **Revista Interface Tecnológica, [S. l.]**, v. 17, n. 1, p. 635-647, 2020.
- RANGEL, Y.L. et al. Análise bibliométrica da indústria 4.0: traçando tendências para o futuro. In: **Encontro nacional de engenharia de produção**, 2019, Santos, SP. Anais... Santos/SP: 15 a 18 out. 2019.
- SANTI, T. Segurança Cibernética na Indústria 4.0. O Papel: **Revista Mensal de Tecnologia em Celulose e Papel**. v.79, n. 2, 2023.
- SOUZA, Valdir Cardoso de. **Organização e Gerenciamento da Manutenção**: Programa e Controle de Manutenção. 4. ed. All Printe Editora, São Paulo, 2022.
- TOAZZA, Guilherme Francez; SELLITO, Miguel Afonso. Estratégia de Manutenção Preditiva no Departamento Gráfico de uma Empresa do Ramo Fumageiro. **Revista Produção Online**. V.15, n.3, 2019.
- WOLLSCHLAEGE, M.; SAUTER, T.; JASPERRNEIT, J. The Future of Industrial Communication: Automation Networks in the Era of the Internet of Things and Industry 4.0. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 11, p. 17-27, 2019.
- VELDMAN, J.; et al. Typology of condition-based maintenance. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, p. 183-202, 2019.
- VIANA, Hebert Ricardo Garcia. **Planejamento e Controle da Manutenção**. 1.ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2022.