



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:**
Limitações e possibilidades



BENEFÍCIOS AUFERIDOS COM A IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA NA ERA DA INDÚSTRIA 4.0

CARLOS ALBERTO OIAN – carlos_oian@yahoo.com.br
INSTITUTO FEDERAL DE SÃO PAULO – IFSP – PIRACICABA/SP

DANIELE MARIA B. FALCONE OIAN – dani_falcone@yahoo.com.br
INSTITUTO FEDERAL DE SÃO PAULO – IFSP – PIRACICABA/SP

ÁREA: 1 – ENGENHARIA DE OPERAÇÕES E PROCESSOS DE PRODUÇÃO
SUBÁREA: 1.3 – GESTÃO DA MANUTENÇÃO

RESUMO: A INDÚSTRIA 4.0 É RESPONSÁVEL POR GRANDES INOVAÇÕES JUNTO AO PROCESSO PRODUTIVO, GRAÇAS A MAIOR CONECTIVIDADE ENTRE MÁQUINAS, HOMENS E OBJETOS, QUE ACULMINOU NA CRIAÇÃO DAS FÁBRICAS INTELIGENTES, AO MESMO TEMPO, A MANUTENÇÃO PREDITIVA TROUXE A POSSIBILIDADE DE MAIOR PRODUTIVIDADE, SEJA PELA REDUÇÃO DE MÁQUINAS PARADAS E CUSTOS, MAIOR CONFIABILIDADE OU MELHORIA NA QUALIDADE DE PRODUTOS E SERVIÇOS; O PRESENTE TRABALHO TEVE POR OBJETIVO IDENTIFICAR, ATRAVÉS DE UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO QUALITATIVO, QUAIS TECNOLOGIAS ASSOCIADAS A INDÚSTRIA 4.0 SÃO MAIS RELEVANTES NA IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO DE MANUTENÇÃO PREDITIVA INTELIGENTE. DENTRE OS BENEFÍCIOS IDENTIFICOU-SE A REDUÇÃO NOS CUSTOS E NO TEMPO DE PARADA, INCREMENTO NA PRODUTIVIDADE E NA VIDA ÚTIL DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS.

PALAVRAS-CHAVES: MANUTENÇÃO PREDITIVA; MANUTENÇÃO; INDÚSTRIA 4.0; QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.

1. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos nas áreas de automação e produção levaram à Quarta Revolução Industrial, criando as denominadas fábricas inteligentes (*smart factories*), que envolvem tecnologias facilitadoras como *CPS* (*Cyber-physical systems*), *IoT*, *IoD*, *IoS*, manufatura aditiva, *AI* (*Artificial Intelligence*), *AR* (*Augmented Reality*), *VR* (*Virtual Reality*), entre outras, tudo com o objetivo de fornecer produtos e serviços de qualidade superior e com maior confiabilidade. Em termos organizacionais, máquinas e equipamentos inteligentes são essenciais ao aumento da eficiência, produtividade e rentabilidade, e globalmente, as indústrias devem expandir, colaborativamente, seus sistemas produtivos, ao mesmo tempo que a manutenção deve ser explorada de forma a manter tal sistema em operação e sem interrupções. (BAJIK *et al.*, 2021)

A gestão eficiente da manutenção é essencial para o progresso e a evolução dos sistemas produtivos, reduzindo custos, evitando interrupções ou paradas desnecessárias, perda de materiais e ociosidade da mão-de-obra. (NIKOLIC *et al.*, 2017)

A Indústria 4.0 está colaborando intimamente com a revolução tecnológica, e nos dias de hoje, máquinas e homens são confrontados a tomar decisões conjuntas visando manter os sistemas produtivos operando com a máxima eficiência e confiabilidade, prevendo o momento mais adequado para se realizar as manutenções; através da manutenção preditiva é possível minimizar o tempo de parada, os custos e o controle, e maximizar a qualidade dos produtos ou serviços. (ZONTA *et al.*, 2020)

O ponto crucial do paradigma envolvendo a Indústria 4.0 consiste em explorar dados com o objetivo de evoluir os processos e sistemas baseados em controle para processos inteligentes, os quais serão capazes de prever o comportamento dos diferentes atores envolvidos no processo produtivo e corrigi-los, antecipadamente, evitando perdas desnecessárias. (JAENAL, RUIZ-SARIENTO, GONZALO-GIMENEZ, 2024)

O objetivo deste trabalho consiste em evidenciar através de uma pesquisa bibliográfica, as vantagens auferidas com a implementação da manutenção preditiva na era da Indústria 4.0, bem como quais ferramentas e técnicas são mais relevantes, e para constatá-los, foram avaliados artigos científicos publicados entre 2020 e 2024.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Indústria 4.0

O termo Indústria 4.0 tem sua origem associada ao termo alemão “*Industrie 4.0*”, introduzido em 2011 na Feira de Hannover, e que se tornou foco imediato do governo alemão e de outros países europeus, entretanto, pode ser entendido como a aplicação dos CPS (*Cyber-Physical Systems*) na produção industrial, o que é equivalente à introdução da internet industrial pela GE nos EUA. O conceito de Indústria 4.0 pode estar em um futuro próximo, porém, seus princípios e tecnologias tem sido alvo de pesquisa há mais de uma década, e muitos pesquisadores creem que, desejado ou não, trata-se de um fenômeno próximo. Similar à internet nos anos 90, a Indústria 4.0 é um sucesso potencial e não, apenas, um exagero. (GHOBAKHLOO, 2018)

De acordo com Xu *et al.* (2018), nos últimos anos a I.4.0 surgiu como uma estrutura tecnológica promissora usada para integrar processos de manufatura tanto a nível intra-organizacional como inter-organizacional, graças ao desenvolvimento da tecnologia da informação (TI). Esta viabilidade foi evidenciada, particularmente, através da digitalização das cadeias horizontal e vertical, e a melhoria da qualidade na Indústria 4.0 pode ser concretizada pela integração de novas tecnologias, ou de tecnologias já existentes, em especial, pela implementação dos *Cyber-Physical Systems* (CPS).

A Indústria 4.0 fundamenta-se na integração de tecnologias da informação e comunicação (TIC), as quais permitem atingir novos estágios de produtividade, qualidade e gestão, permitindo a criação de novas estratégias e modelos de negócio para a atividade industrial. Dentro de uma fábrica inteligente (*smart factory*), a linha de produção pode ser acionada de maneira remota, e é possível se criar um modelo virtual, onde otimizações podem ser testadas e só depois implementadas, minimizando riscos e custos, e da mesma forma, o cliente pode ter acesso *online* ao *status* do pedido, e requerer eventuais customizações. (SACOMANO *et al.*, 2018)

A 4ª Revolução Industrial é impulsionada por tecnologias como a *IoT*, *Cloud Computing*, *BigData- Analytics* e Inteligência Artificial entre outras e, ainda que a automação das atividades de manufatura tenha impacto no trabalho manual, a era digital influencia os aspectos cognitivos dos processos decisórios, como o planejamento da produção e as gestões de manutenção e da qualidade. (BUENO *et al.* (2020), CIARLI *et al.* (2021), SOUZA-ZOMER *et al.* (2020))

2.2 Tecnologias associadas à Indústria 4.0

A Indústria 4.0 introduziu novos conceitos e agrupou tecnologias que possibilitam que mudanças disruptivas surjam, na Figura 1 estão organizadas algumas destas tecnologias consideradas mais relevantes.

FIGURA 1 – Tecnologias mais relevantes na Indústria 4.0

Ferramenta	Definição
<i>BigData</i>	<i>Big Data</i> é um grande banco de dados que contém informações úteis para a tomada de decisão, porém, este banco exibe como diferencial o fato de que estas informações são dinâmicas, ou seja, os resultados das análises variam em tempo real de acordo com as alterações externas. (VENTURELLI, 2014)
<i>Big Data Analytics</i>	<i>Analytics</i> aplicado em <i>Big Data</i> é o processo de examinar os dados para descobrir padrões escondidos, correlações desconhecidas e outras informações úteis que podem ser utilizadas para a melhor tomada de decisão. Através desta análise, cientistas de dados e outras pessoas podem analisar grandes volumes de dados e retornar informações relevantes. (SAS, 2017).
<i>Virtual reality (Realidade virtual)</i>	Realidade Virtual é uma tecnologia de interface capaz de enganar os sentidos de um usuário, por meio de um ambiente virtual, criado a partir de um sistema computacional. Ao induzir efeitos visuais, sonoros e até táteis, permite a imersão completa em um ambiente simulado, com ou sem interação do usuário. (TECHTUDO, 2017)
<i>CPS (Cyber physical Systems)</i>	Os sistemas ciberfísicos (<i>Cyber-Physical Systems</i>) constituem-se na fusão dos mundos físico e virtual, e podem ser entendidos como a integração da computação com os processos físicos, ou seja, computadores e redes incorporam, monitoram, e controlam os processos físicos e os realimentam com informações e dados. (HERMANN <i>et al.</i> , 2015)
<i>Smart Factory</i>	A fusão dos mundos virtual e físico através dos <i>CPS</i> e a consequente fusão dos processos técnicos e administrativos abriram caminho para a criação do conceito de <i>Smart Factory</i> . Além da automação, a palavra de ordem é flexibilização e otimização em tempo real, graças à conectividade. (SHARMA; JABBOUR; LOPES DE SOUZA JABBOUR, 2021)
<i>IoT (Internet of Things)</i>	A <i>IoT</i> consiste em conectar máquinas e produtos, através de dispositivos e sensores, como <i>RFID</i> , código de barras, <i>QR code</i> , <i>Bluetooth</i> , entre outros, à rede de computadores, possibilitando a automação e centralização do controle e produção. (ANDERL, 2014)
<i>Cloud Computing (Computação em nuvem)</i>	A computação em nuvem é o fornecimento de recursos de computação através da internet. Ela permite o acesso a arquivos, vídeos, softwares, dados, redes, aplicativos e servidores de maneira remota e a qualquer momento. (IBM, 2024)
<i>Cyber Security (Segurança Cibernética)</i>	Segurança cibernética é a prática de proteger sistemas essenciais e informações sensíveis contra ataques digitais. (IBM, 2024)
<i>Inteligência Artificial (AI)</i>	A <i>AI</i> corresponde a um conjunto de software, lógica, computação e disciplinas filosóficas que visa fazer com que os computadores realizem funções que eram exclusivamente humanas, como linguagem escrita ou falada, aprender, reconhecer expressões faciais (HPE, 2021).
<i>Machine Learning</i>	<i>Machine Learning</i> é um método de análise de dados que automatiza a construção de modelos analíticos. É um ramo da inteligência artificial baseado na ideia de que sistemas podem aprender com dados, identificar padrões e tomar decisões com o mínimo de intervenção humana (SAS, 2021).

Fonte: Elaboração própria (2024)

2.3 Estratégias de Manutenção

O objetivo principal da manutenção consiste em reduzir o impacto do mau funcionamento, melhorando a produtividade e a eficiência em um processo produtivo. Os desenvolvimentos tecnológicos, pós 2º Guerra tem melhorado a capacidade da manutenção, no entanto, a degradação das máquinas e equipamentos é inevitável, portanto, a manutenção é inevitável. Neste sentido, as organizações têm focado na criação de processos que possam compreender a necessidade da manutenção antes da ocorrência de falhas, e no contexto da Indústria 4.0, os custos de manutenção são considerados geradores de valor. (WANG, 2018)

Ao se analisar o conceito de manutenção é possível identificar, pelo menos, 4 tipos distintos aplicáveis às atividades industriais, e cada um exibe objetivos, abordagens e estratégias particulares e, eventualmente, é possível combinar um ou mais tipos visando a maximização dos resultados. Dentre os tipos mais comuns citam-se:

Manutenção corretiva: Por vezes denominada de manutenção reativa, tem por objetivo reparar um sistema ou seus componentes após a ocorrência da falha. (WERBIŃSKA-WOJCIECHOWSKA, 2019)

Manutenção preventiva: Fundamenta-se em intervalos de manutenção pré-programados, utilizando intervalos de tempo fixos e tem por objetivo reparar um sistema antes que ocorra uma falha, não levando em consideração o real estado do sistema. (WERBIŃSKA-WOJCIECHOWSKA, 2019)

Manutenção preditiva: Tem por objetivo definir o momento ideal para a tomada das ações de manutenção, evitando o reparo prematuro e dispendioso, ao mesmo tempo que busca assegurar a correção antes da falha, maximizando a vida útil do equipamento. (CHONG, 2020)

Manutenção prescritiva: A manutenção prescritiva fornece uma recomendação das ações a serem tomadas, como uma prescrição, antecipando potenciais cenários gerados por tais ações e avaliando seus efeitos, ou seja, explora projeções de falhas para otimizar as implicações operacionais da manutenção. (MEISSNER, MEYER & WICKE, 2021)

A manutenção preditiva é tida como prioritária na Era da 4º Revolução Industrial, pois falhas no sistema produtivo constituem-se num risco significativo para o desempenho operacional. Desta forma a manutenção é considerada como uma função estratégica e não um mal necessário, mas, ainda assim a manutenção preditiva enfrenta vários desafios a sua implementação no complexo e dinâmico ambiente produtivo da Indústria 4.0. (BOUDEKIS, APOSTOLOU & MENTZAS, 2020)

Dentro do ambiente da Indústria 4.0, a manutenção preditiva está se tornando cada vez mais sofisticada, integrando sensores, análise de dados e algoritmos de inteligência artificial, permitindo ao usuário monitorar e analisar o desempenho de uma máquina ou equipamento em tempo real. Logo é possível se fazer previsões mais precisas em relação a falhas, bem como priorizar as atividades de manutenção com base na urgência e impacto no setor produtivo. (ARENA *et al.*, 2021)

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada no presente artigo consistiu em uma pesquisa bibliográfica qualitativa e exploratória na qual se buscou identificar as vantagens auferidas com a implementação da manutenção preditiva na era da Indústria 4.0.

Como mencionado, trata-se de uma pesquisa bibliográfica exploratória: exploratória, porque avança sobre um terreno pouco conhecido, procurando mapeá-lo; bibliográfica, porque a busca se deu em artigos disponíveis nas bases de dados. A referida pesquisa compreendeu o levantamento de referências sobre os tópicos junto às bases de dados *Emerald Journals*, *Google Scholar*, *IEEEExplore*, *ScienceDirect*, *Scopus*, *Springer Link* e *Web Of Science* nas quais foram pesquisados periódicos nacionais e estrangeiros, e restringiu-se a busca entre os anos de 2020 a 2024. A pesquisa, foi realizada tanto em relação às palavras-chave (*keywords*), como em relação à presença destas no título ou nos tópicos dos artigos, e refinado por tipo de documento, *article* ou *review*, e foram empregados dos termos *Industry 4.0* e *Predictive maintenance*.

4. RESULTADOS

O resultado da pesquisa resultou, inicialmente, na segregação de 102 artigos, no entanto, após uma análise mais detalhada, através da leitura dos mesmos, identificou-se 31 artigos que relataram com maior profundidade as vantagens auferidas com a implementação da manutenção preditiva na era da Indústria 4.0.

O resultado final da pesquisa é exibido na Tabela 1 a qual exhibe a base de dados em que o artigo foi encontrado, o título do mesmo, o(s) autor(es), o ano de publicação, as ferramentas e técnicas da Indústria 4.0 empregadas junto a manutenção preditiva e os benefícios relatados. Na hipótese do mesmo artigo estar presente em mais de uma base de dados, estabeleceu-se como critério, associá-lo à primeira base em que o mesmo foi identificado.

TABELA 1 – Artigos avaliados – Manutenção Preditiva x Indústria 4.0

Base de Dados	Título do artigo	Autor(es)	Ano (publicação)	Ferramentas e Técnicas da I.4.0 empregadas junto à manutenção preditiva	Benefícios auferidos
Google Scholar	Predictive maintenance in industry 4.0	Sang, G. M. et al.	2020	IoT, BigData, Cloud Computing	Implementação de um modelo de manutenção preditiva inteligente
Google Scholar	A survey on predictive maintenance for industry 4.0	Krupitzer, Christian et al.	2020	IoT, BigData	Tempo de inatividade minimizado, vida útil prolongada da máquina, aumento da produtividade e redução de custos
Google Scholar	Challenges to IoT-Enabled Predictive Maintenance for Industry 4.0	Compare, M.; Baraldi, P.; Zio, E.	2020	IoT	Desenvolvimento de hardware e software para rastreamento remoto do status de máquinas e equipamentos
IEEEExplore	Predictive Maintenance in the 4th Industrial Revolution: Benefits, Business Opportunities, and Managerial Implications	Bousdekis, A.; Apostolou, D.; Mentzas, G.	2020	IoT, CPS, CyberSecurity, Bigdata-Analytics, Cloud Computing, Manufatura aditiva	Aumento da vida útil do equipamento, redução dos custos de manutenção, redução dos tempos de inatividade, melhoria da confiabilidade, utilização eficiente dos recursos de manutenção.
IEEEExplore	Predictive Maintenance for SME in Industry 4.0	Rastogi, Vrinda et al.	2020	IoT, Cloud Computing, CPS	Aumento da vida útil do equipamento e possibilidade de detectar anomalias com antecedência
ScienceDirect	Machine learning and reasoning for predictive maintenance in Industry 4.0: Current status and challenges	Dalzochio, J. et al.	2020	IoT, AI, CPS, BigData-Analytics, Cloud Computing	Redução de custos e tempo gasto na tarefa de manutenção
Web of Science	Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review	Zonta, T. et al.	2020	IoT, BigData, CPS, Smart Factory, AI	Maior integração da manutenção preditiva com o processo produtivo
Google Scholar	Predictive maintenance system for production lines in manufacturing: A machine learning approach using IoT data in real-time	Ayvaz, Serkan; Alpay, Koray	2021	IoT, BigData, AI	Implementação de um modelo de manutenção preditiva inteligente
Google Scholar	Implementation of Industry 4.0 technology: New opportunities and challenges for maintenance strategy	Bona, g. et al.	2021	CPS, IoT, Smart Factory, AR, BigData-Analytics	Implementação de um modelo de manutenção preditiva inteligente
ScienceDirect	Predictive Maintenance in Industry 4.0: Current Themes	Aymane Sahlia, A.; Evansa, R.; Manohara, A.	2021	IoT, CPS, Cloud Computing	Redução no número de avarias e erros, melhoria da confiabilidade e redução de custos
ScienceDirect	Data science applications for predictive maintenance and materials science in context to Industry 4.0	Sajid, Sufiyan et al.	2021	IoT, BigData-Analytics, CPS	Identificar as causas raízes de falhas e desvios de qualidade de uma máquina, contribuindo para minimizar perdas de tempo e custo
ScienceDirect	An Industry 4.0 Technology Implementation Model for Rolling Stock Maintenance	Wippel, Marius; Luche, Dominik; Jooste, Johannes L.	2021	Virtual reality, Bigdata-Analytics, IoT, Cloud Computing	Modelo para seleção e implementação de tecnologias da Indústria 4.0 na manutenção
Springer Link	Developing a Web Platform for the Management of the Predictive Maintenance in Smart Factories	Aksa, K. et al.	2021	Robótica, AI, Sensores inteligentes, IoT, Cloud Computing, BigData-Analytics	Implementação de um modelo de manutenção preditiva inteligente
Web of Science	A Predictive Maintenance Model for Flexible Manufacturing in the Context of Industry 4.0	Sang, G. M.; Xu, L.; de Vriezi, P.	2021	BigData-Analytics, IoT, CPS	Otimização do cronograma de manutenção preditiva

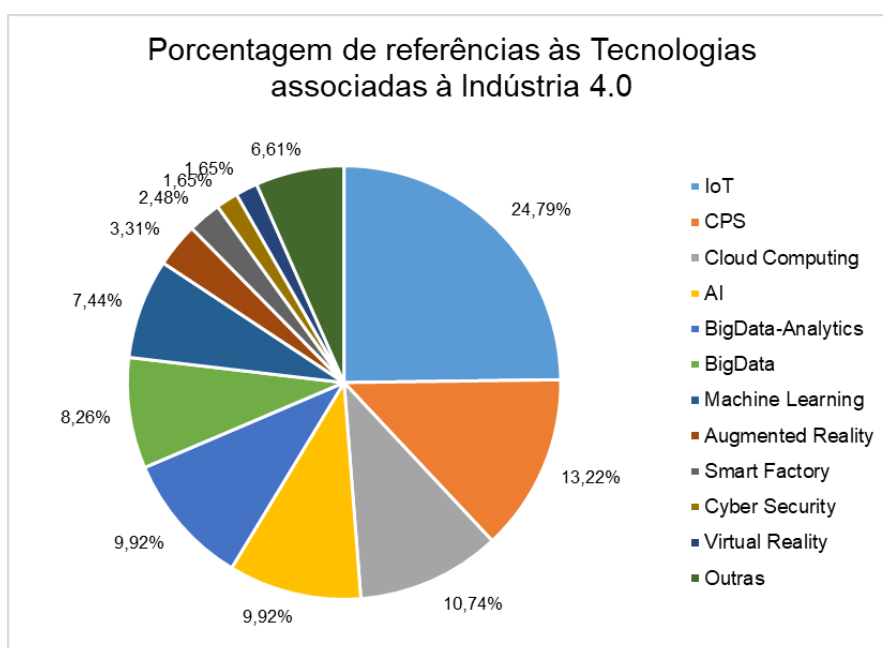
Emerald Journals	Industry 4.0 and intelligent predictive maintenance: a survey about the advantages and constraints in the Italian context	Stefanini, R. et al.	2022	BigData, Machine Learning, IoT, Cloud Computing, Colaborative Robots	Aumento da produtividade, redução dos tempos de planejamento de manutenções e paradas de fábrica, melhoria da qualidade do produto/serviço prestado
Emerald Journals	Maintenance 4.0: implementation challenges and its analysis	James, A. T. et al.	2022	IoT, BigData, CyberSecurity, Cloud Computing	Implementação de um modelo de manutenção preditiva inteligente
Google Scholar	On Predictive Maintenance in Industry 4.0: Overview, Models, and Challenges	Achouch, M. et al.	2022	CPS, IoT, BigData, AR, AI, Machine Learning	Implementação de um modelo de manutenção preditiva inteligente
IEEEExplore	IoT Based Predictive Maintenance in Industry 4.0	Sharma, A.; Aslear, A.	2022	IoT, Machine Learning, VR, AR	Reduzir custos de manutenção e incrementar a disponibilidade dos equipamentos
ScienceDirect	An overview of Industry 4.0 Applications for Advanced Maintenance Services	Hien, Nguyen Ngoc et al.	2022	IoT, BigData-Analytics, CPS	Melhoria da vida útil do equipamento e melhoria da eficácia global do equipamento, redução de custos e ganhos de sustentabilidade
Springer Link	Machine learning based fault-oriented predictive maintenance in industry 4.0	Justus, Vivek; Kanagachidambaresan, G. R.	2022	Machine Learning, AI, IoT, BigData	Implementação de um modelo de manutenção preditiva inteligente
Springer Link	From knowledge-based to big data analytic model: a novel IoT and machine learning based decision support system for predictive maintenance in Industry 4.0	Rosati, R. et al.	2022	IoT, BigData, Machine Learning	Otimização dos cronogramas de manutenção, permitindo redução de custos operacionais, maximizando o tempo de atividade e melhorando a produtividade
Web of Science	The Role of Industry 4.0 and BPMN in the Arise of Condition-Based and Predictive Maintenance: A Case Study in the Automotive Industry	Fernandes, J. et al.	2022	IoT, IoS, CPS, AI	Implementação de um modelo de manutenção preditiva inteligente
ScienceDirect	Maintenance optimization in industry 4.0	Pincirolì, Luca; Baraldi, Piero; Zio, Enrico	2023	IoT, AI, BigData-Analytics, AR, Machine Learning	Implementação de um modelo de manutenção preditiva inteligente
Scopus	An IoT and Machine Learning-Based Predictive Maintenance System for Electrical Motors	Mohammed, N. A.; Abdulateef, O.F.; Hamad, A.H.	2023	IoT e IA	Maior agilidade na identificação e correção de problemas
Scopus	Predictive Maintenance in Industry 4.0 for the SMEs: A Decision Support System Case Study Using Open-Source Software	Pejić Bach, M. et al.	2023	IoT e IA	Maior agilidade na identificação e correção de problemas
Scopus	An Industry 4.0 implementation of a condition monitoring system and IoT-enabled predictive maintenance scheme for diesel generators	Mohapatra, A.G. et al.	2023	IoT, BigData-Analytics, Cloud Infrastructure	Maior agilidade na identificação e correção de problemas
Springer Link	Integrating Industry 4.0 and the Internet of Things (IoT) for eco-friendly manufacturing	Zhen Yang, Zhen; Wang, Qian; Jia, Mingshuang	2023	Machine Learning, IoT, BigData-Analytics, CPS, Cloud Computing	A integração de dispositivos IoT e algoritmos de Machine Learning permite práticas de manutenção preditiva, levam à melhoria da eficiência operacional e à redução do consumo de recursos
Springer Link	Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies	Santhi, Abirami Raja; Muthuswamy, Padmakumar	2023	AI, Machine Learning, IoT, CPS, BigData-Analytics, Cloud Computing, Automação e Robótica	Tempo de inatividade minimizado, vida útil prolongada da máquina, aumento da produtividade e redução de custos
Web of Science	Application of sensor data based predictive maintenance and artificial neural networks to enable Industry 4.0	Fordal, J. M. et al.	2023	IoT, Cloud Computing, AI	Implementação de um modelo de manutenção preditiva inteligente

Emerald Journals	Data driven predictive maintenance for large-scale asset-heavy process industries in Singapore	Karippur, N. K., Balaramachandran, P. R. e John, E.	2024	BigData, IoT, Cloud Computing, CPS	Aumento da vida útil do equipamento e a disponibilidade, e redução de custos
Web of Science	An Exploration of Organisational Readiness for Industry 4.0: A Predictive Maintenance Perspective	Maletic, D.; Maletic, M.	2024	Digitalização, IoT, BigData, Machine Learning, Smart Factory, CPS	A I.4.0 favorece a migração da manutenção preventiva para a manutenção preditiva graças à análise de dados digitais

Fonte: Elaboração própria (2024)

Com base nos dados citados na Tabela 1, elaborou-se o Gráfico 1, onde é possível se identificar quais tecnologias associadas a Indústria 4.0 podem ser empregadas na implementação da manutenção preditiva.

GRÁFICO 1 – Porcentagem de referências às tecnologias associadas à Indústria 4.0

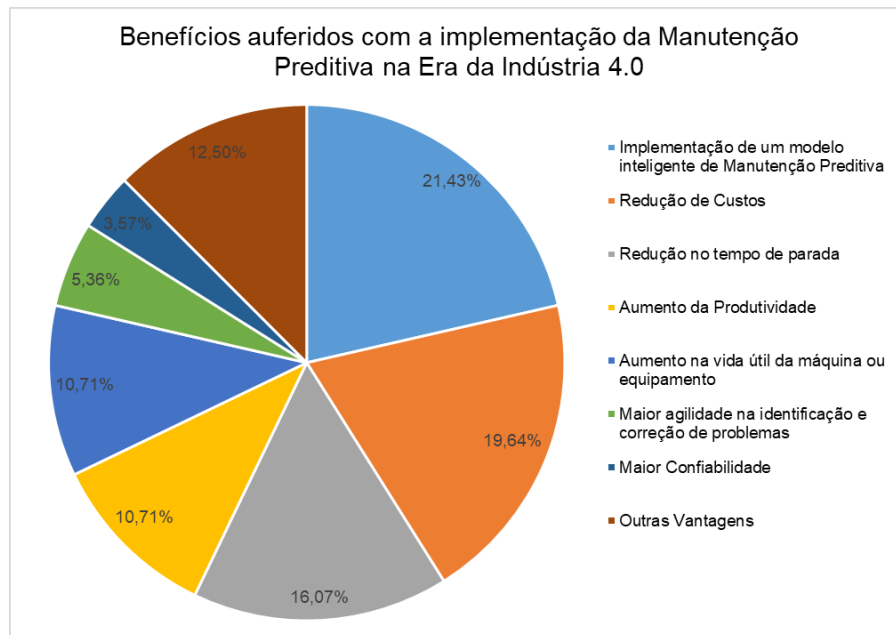


Fonte: Elaboração própria.

Com base nos artigos selecionados, é possível se observar que a *IoT* é citada em praticamente um quarto de todos os artigos (24,79%), e que o *CPS*, *Cloud Computing*, *AI*, *BigData-Analytics*, *BigData* e *Machine Learning* seguem-se em porcentagens relativamente próximos, e que este conjunto representa 84,29% do total, mostrando a importância e a aplicabilidade dos mesmos.

O Gráfico 2, também fundamentado na Tabela 1 detalha quais os principais benefícios auferidos com a implementação da manutenção preditiva na era da Indústria 4.0.

GRÁFICO 2 – Benefícios auferidos com a implementação da Manutenção Preditiva na Era da Indústria 4.0.



Fonte: Elaboração própria.

Ao se analisar o Gráfico 2, é possível ver que, o principal benefício constituiu-se na possibilidade de implementação de um modelo inteligente de manutenção preditiva, o que trouxe como benefícios, diretamente associados, a redução de custos e no tempo de parada, e o aumento da produtividade e da vida útil das máquinas e equipamentos. Ainda de maneira complementar, houve um incremento na agilidade de se identificar e corrigir falhas e um ganho na confiabilidade das máquinas e equipamentos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Indústria 4.0 pode ser entendida pela hiperconectividade entre pessoas, entre máquinas e entre pessoas e máquinas, integrando dados, dispositivos, pessoas e serviços, e gerando crescimento exponencial na produtividade, com ganhos na competitividade e em novas oportunidades de negócios, graças a adoção de tecnologias como *IoT*, *CPS*, *Cloud Computing*, *AI* e *BigData-Analytics* entre outras. Dentro deste contexto, a manutenção preditiva utiliza-se de dados digitalizados, extraídos de sensores, e graças à análise de dados, busca monitorar máquinas e equipamentos, de maneira inteligente, para determinar quando e onde as manutenções são necessárias, minimizando custos e tempos de parada, e maximizando a vida útil dos sistemas produtivos, trazendo ganhos de produtividade e melhoria na qualidade dos produtos e serviços.

REFERÊNCIAS

- ANDERL, R. Industrie 4.0-advanced engineering of smart products and smart production. In: Proceedings of international seminar on high technology. 2014.
- ARENA, F. et al. Predictive maintenance in the automotive sector: A literature review. *Mathematical and Computational Applications*, v. 27, n. 1, p. 2, 2021.
- BAJIC, B. et al. Industry 4.0 implementation challenges and opportunities: A managerial perspective. *IEEE Systems Journal*, v. 15, n. 1, p. 546-559, 2020.
- BOUSDEKIS, A.; APOSTOLOU, D.; MENTZAS, G. Predictive maintenance in the 4th industrial revolution: Benefits, business opportunities, and managerial implications. *IEEE engineering management review*, v. 48, n. 1, p. 57-62, 2019.
- BUENO, A.; GODINHO FILHO, M.; FRANK, A. G. Planejamento e controle inteligente da produção no contexto da Indústria 4.0: Uma revisão sistemática da literatura. *Computadores e Engenharia industrial*, v. 149, p. 106774, 2020.
- CHEN, C. et al. Automobile maintenance modelling using gcfrest. In: 2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). IEEE, 2020. p. 600-605.
- CIARLI, T. et al. Digital technologies, innovation, and skills: Emerging trajectories and challenges. *Research Policy*, v. 50, n. 7, p. 104289, 2021.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: 2016 49th Hawaii International Conference on system sciences (HICSS). IEEE, 2016. p. 3928-3937.
- HPE Hewlett Packard Enterprise. O que é inteligência artificial? Disponível em < <https://www.hpe.com/br/pt/what-is/artificial-intelligence.html>>. Acesso em 01 mai. 2024.
- IBM Disponível em: <<https://www.ibm.com/br-pt/topics/>> Acesso em: 20 mai. 2024.
- JAENAL, A., RUIZ-SARMIENTO, J., GONZALES-GIMENEZ, J. MachNet, general Deep Learning architecture for Predictive Maintenance within the industry 4.0 paradigm (2024). Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095219762301549X> >
- MEISSNER, R.; MEYER, H.; WICKE, K. Concept and economic evaluation of prescriptive maintenance strategies for an automated condition monitoring system. *International Journal of Prognostics and Health Management*, v. 12, n. 3, 2021.
- NIKOLIC, B. et al. Predictive manufacturing systems in industry 4.0: Trends, benefits and challenges. In: Proceedings of 28th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. DAAAM International, Vienna, Austria, 2017. p. 796-802.
- SACOMANO, J. B. et al. (org.) Indústria 4.0: Conceitos e fundamentos. São Paulo: Blucher, 2018. 182 p.: II.

SAS (2017). Big Data Analytics. O que é, e porque é importante. Disponível em: <https://www.sas.com/pt_br/insights/analytics/big-data-analytics.html> Acesso em: 13 mai. 2024.

SAS (2021). Machine Learning O que é e qual sua importância? Disponível em <https://www.sas.com/pt_br/insights/analytics/machine-learning.html>. Acesso em 22 mai. 2024.

SHARMA, R.; JABBOUR, C. J. C.; LOPES DE SOUSA JABBOUR, A. B. Sustainable manufacturing and industry 4.0: what we know and what we don't. Journal of Enterprise Information Management, v. 1, pág. 230-266, 2021.

SOUSA-ZOMER, T.; NEELY, A.; MARTINEZ, V. Digital transforming capability and performance: a microfoundational perspective. International Journal of Operations & Production Management, v. 40, n. 7/8, p. 1095-1128, 2020.

TECHTUDO (2017). Realidade virtual. Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/09/o-que-e-realidade-virtual-entendamelhor-como-funciona-a-tecnologia.html>>. Acesso em: 21 mai. 2024.

VENTURELLI, M. (2014) Indústria 4.0 – O protocolo profinet e a indústria 4.0. Disponível em: <<https://mhventurelli.wordpress.com/2014/09/02/industria-4-0/>> Acesso em: 12 mai. 2024.

ZONTA, T. et al. Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review. Computers & Industrial Engineering, v. 150, p. 106889, 2020.

WANG, B. The future of manufacturing: A new perspective. Engineering, v. 4, n. 5, p. 722-728, 2018.

WERBIŃSKA-WOJCIECHOWSKA, S. Preventive maintenance models for technical systems. Technical System Maintenance: delay-Time-Based Modelling, p. 21-100, 2019.