



ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01
de dezembro 2023

Manutenção Preditiva com *Machine Learning* na Indústria: Uma Revisão Sistemática da Literatura

Aldir Rogério Sabino da Cruz

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PGP) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná

Edwin Vladimir Cardoza Galdamez

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Márcia Marcondes Altimari Samed

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Resumo: Este artigo apresenta uma Pesquisa Bibliográfica Sistemática com o objetivo de coletar, selecionar, examinar, compreender e sintetizar as publicações atuais sobre *machine learning* no contexto da manutenção preditiva na indústria e, assim, estabelecer uma fundamentação teórica científica sobre o assunto. As análises realizadas foram qualitativas. O *Methodi Ordinatio* foi usado como protocolo de pesquisa, depois os trabalhos científicos foram classificados segundo categorias e subcategorias definidas pelos autores. Os resultados indicam uma tendência no número de publicações nos últimos quatro anos e uma predominância de artigos no nível de decisão estratégicos. Assim, os resultados representam uma síntese das principais publicações sobre o estado atual do conhecimento sobre a manutenção preditiva com *machine learning* na indústria e, pretendem contribuir para a identificação de oportunidades e tendências para o desenvolvimento de futuras investigações.

Palavras-chaves: Manutenção Preditiva, *Machine Learning*, *Methodi Ordinatio*, Indústria.

Predictive Maintenance with Machine Learning in Industry: A Systematic Literature Review

Abstract: This article presents a Systematic Bibliographical Research with the objective of collecting, selecting, examining, understanding and synthesizing current publications on machine learning in the context of predictive maintenance in industry and, thus, establishing a scientific theoretical foundation on the subject. The analyzes carried out were qualitative. The *Methodi Ordinatio* was used as a research protocol, then the scientific works were classified according to categories and subcategories defined by the authors. The results indicate a trend in the number of publications in the last four years and a predominance of articles at the strategic decision level. Thus, the results represent a synthesis of the main publications on the current state of knowledge about predictive maintenance with machine learning in the industry and intend to contribute to the identification of opportunities and trends for the development of future investigations.

Keywords: *Predictive Maintenance*, *Machine Learning*, *Methodi Ordinatio*, *Industry*.

1. Introdução

A quarta revolução industrial, conhecida como indústria 4.0, começou na Alemanha em 2011, como um projeto estratégico de competitividade global de inserção de tecnologia de ponta na manufatura (XUN XU et al., 2021). As tecnologias de ponta, teriam como foco aumentar a eficiência e a produtividade da indústria, destacando assim a indústria Alemã no mercado global. Como tecnologias de ponta inseridas na indústria 4.0, se destacam: *Intenet das Coisas* (IoT) (objetos físicos conectados entre si), *Big Data* (grandes volumes de dados), *CloudingComputing* (armazenamento de informações em um local remoto) e, *Cyber-Physical Systems* (sistemas que compartilham e integram infra-estrutura de comunicação) (CARVALHO; TIOSSO; REIS, 2020).

A indústria 4.0 foi aderida por várias indústrias em várias partes do mundo, devido ao seu potencial de melhoria de eficiência e produtividade, e por abrir oportunidades de trabalhar com tecnologias que até então não era possível se trabalhar. Nesse contexto, uma abordagem que se tornou possível foi, a manutenção preventiva *com machine learning*.

A manutenção preventiva é um tipo de manutenção, que faz uso de ferramentas preditivas para identificar o momento adequado para realizar ações de manutenção, com base no acompanhamento contínuo de máquinas ou processos, possibilitando que a manutenção seja realizada somente quando estritamente necessária (CARVALHO et al., 2019). Combinada com *machine learning*, técnica que ensina o computado a aprender determinadas tarefas, a partir de dados passados, podem melhorar a eficiência da manutenção, prevendo eventuais falhas e a vida útil do sistema com maior precisão.

O objetivo deste artigo consiste em realizar uma revisão sistemática para coletar, selecionar, examinar, compreender e sintetizar as publicações atuais sobre *machine learning* na manutenção preditiva na indústria, para dessa forma, estabelecer uma fundamentação teórica científica sobre o tema. Uma fundamentação teórica sobre o tema é importante porque permite um melhor entendimento do panorama atual do objeto de estudo, fornecendo informações que vão ser úteis para novas pesquisas como: identificando lacunas na literatura existente, auxiliando na tomada de decisão de futuros trabalhos, permitindo que outros autores construam sobre as descobertas desenvolvidas.

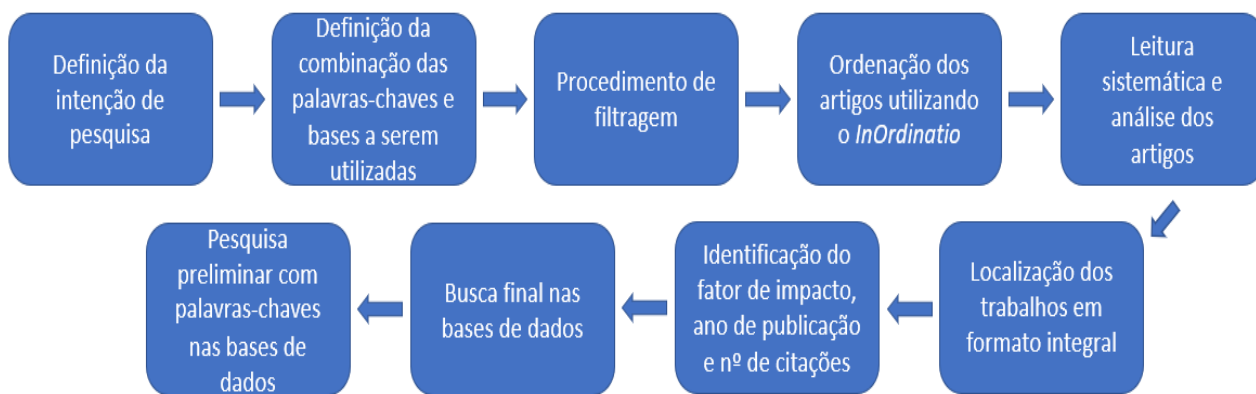
A metodologia utilizada neste artigo, foi primeiramente usado o *Methodi Ordinatio*, para o protocolo de pesquisa (seleção e ordenação dos melhores artigos), seguido da classificação dos artigos em categorias e subcategorias definidas pelos autores.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: seção 1 deste artigo, Introdução; seção 2, Metodologia; a seção 3 apresenta as análises dos dados preliminares e classificatórios; a seção 4 apresenta as Considerações Finais; e a seção 5 apresenta a Conclusão.

2 Metodologia

Esse trabalho é uma revisão sistemática da literatura, com abordagem qualitativa, sendo sua metodologia dividida da seguinte forma: primeiramente é usado um protocolo de pesquisa do *Methodi Ordinatio* (PAGANI et al., 2018), com oito etapas para pesquisa, ordenação e escolha dos melhores artigos relacionados ao tema deste trabalho (Figura 1), em seguida os artigos são classificados conforme quatro categorias (e suas subcategoria): metodologia do artigo (*survey*, revisão sistemática, estudo de caso, modelagem), abordagem do artigo (qualitativa, quantitativa e, qualitativa e quantitativa), nível de decisão em que o artigo se encontra (estratégico, tático e, operacional) e, desafios encontrados para a realização do artigo (grande volume de dados, integração de diferentes sistemas, seleção adequada de algoritmos de aprendizado de máquina, seleção correta de técnicas de análise de dados, garantir segurança e privacidade dos dados coletados, treinar e capacitar os profissionais, custos de investimentos, indisponibilidade de dados, entre outros).

Figura 1 – Diagrama de Etapas do Protocolo de Pesquisa com o *Methodi Ordinatio*



Fonte: Adaptado de PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2018

2.1 Protocolo de Pesquisa Método *Ordinatio*

2.1.1 Estabelecendo a intenção de pesquisa e Pesquisa preliminar com as palavras-chaves nas bases de dados

A intenção dessa pesquisa é construir um portfólio bibliográfico a partir de artigos científicos sobre o tema Manutenção preditiva com *Machine Learning* na Indústria. Inicialmente foi usada a expressão *Predictive maintenance in the industry*, como palavra-chave.

2.1.2 Definição da combinação das palavras-chave e das bases de dados a serem utilizadas

A base selecionada para a coleta de dados foi *ScienceDirect*, sendo que, essa escolha ocorreu em função desta base ter um grande número de publicações, e em geral, as revistas dessa base têm um alto Qualis (sistema brasileiro de avaliação de periódicos) no CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, brasileiro), que garante confiabilidade nas publicações.

Foi utilizado três expressões como palavras-chaves para encontrar o maior número possível de artigos sobre o tema da pesquisa: “*predictive maintenance and machine learning*”, “*machine learning predictive maintenance*” e “*machine learning in predictive maintenance*”.

2.1.3 Busca Final nas Bases de Dados e Procedimento de Filtragem

A busca definitiva com as três expressões de palavras chaves usadas separadamente, resultou no total bruto de 116 artigos. Foi usado o gerenciador de referências Zotero para a coleta e armazenamento dos dados.

Foram utilizados os seguintes procedimentos de filtragem:

- O limite temporal estabelecido foi do começo das publicações da base até 20/04/2023, pois o objetivo era uma cobertura bem ampla de artigos.
- Foram selecionados somente artigos de pesquisa e artigos de revisão, eliminando livros e qualquer outro tipo de trabalho, pois estes não possuem fator de impacto.
- Realização da leitura do título e resumo dos artigos, eliminando aqueles que não eram relacionados ao tema de pesquisa e também eliminando os repetidos.

Após a aplicação dos procedimentos de filtragem, restaram apenas 11 artigos.

2.1.4 Identificação do fator de impacto, ano de publicação e número de citações

O fator de impacto, ano de publicação e número de citações dos artigos foram organizados na Tabela 1.

Tabela 1 Identificação Fator de impacto, ano publicação, número de citações

Nome Artigo	Fator de Impacto	Ano Publicação	Número Citações
Machine learning and reasoning for predictive maintenance in Industry 4.0: Current status and challenges	11,425	2020	136
Predictive maintenance in mining industry: grinding mill case study	0	2022	2
A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance	7,18	2019	409
Towards predictive maintenance: the case of the aeronautical industry	0	2022	0
Integrating machine learning techniques into optimal maintenance scheduling	4,13	2022	2
Comparative analysis of machine learning models for anomaly detection in manufacturing	0	2022	4
Machine Learning Pipeline for Predictive Maintenance in Polymer 3D Printing	0	2023	0
Machine learning-based predictive maintenance: A cost-oriented model for implementation	11,251	2021	20
Predictive maintenance enabled by machine learning: Use cases and challenges in the automotive industry	7,247	2021	60
A novel decision support system for managing predictive maintenance strategies based on machine learning approaches	6,392	2022	24
An analysis of machine learning algorithms in rotating machines maintenance	0	2022	1

Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

2.1.5 Ordenando os artigos utilizando o *InOrdinatio*

Nesta etapa, os artigos são ordenados conforme o cálculo do índice *InOrdinatio* (PAGANI *et al.*, 2015) de cada artigo (Equação 1).

Equação 1: $InOrdinatio = \text{Fator de Impacto} + (\alpha * (10 - (\text{Ano da Pesquisa} - \text{Ano de Publicação}))) + \text{Número de Citações}$

O fator de ponderação α , pode ter os valores de 1 a 10. Sendo que quanto mais perto de 1 está se dando mais relevância para os artigos mais antigos, quanto mais perto de 10, a relevância e para os artigos mais novos. Nesse artigo, optou-se pelo fator de ponderação 10, pois a atualidade dos artigos é relevante para os autores.

Foram excluídos todos os artigos pertencentes a periódicos com fator de impacto igual a zero (cinco artigos), restando apenas seis artigos. A Tabela 2 apresenta a ordenação dos artigos selecionados conforme o índice *InOrdinatio*.

Tabela 2 Classificação do Artigo conforme *InOrdinatio*

Ordem	Artigos	Periódico	<i>InOrdinatio</i>
1	A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance	Computers & Industrial Engineering	550,9
2	Machine learning and reasoning for predictive maintenance in Industry 4.0: Current status and challenges	Computers in Industry	239
3	Predictive maintenance enabled by machine learning: Use cases and challenges in the automotive industry	Reliability Engineering & System Safety	171,1

4	A novel decision support system for managing predictive maintenance strategies based on machine learning approaches	Safety Science	127,1
5	Machine learning-based predictive maintenance: A cost-oriented model for implementation	Procedia Computer Science	113
6	Integrating machine learning techniques into optimal maintenance scheduling	International Journal of Production Economics	96,13

Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

2.1.6 Localização dos trabalhos em formato integral e leitura sistemática e análise dos artigos

Os artigos foram encontrados facilmente, ressaltando que são artigos de acesso fechado, sendo necessário para acesso, utilizar rede de uma universidade, ou *proxy* desta.

Para esse trabalho optou-se pela leitura e análise de todos os seis artigos.

2.2 Classificação dos Artigos por Categorias e Subcategorias

A partir da leitura dos artigos selecionados, como também pelo exemplo do artigo Ordeno *et al.*, (2021), foram levantadas categorias e subcategorias em que estas publicações se encontravam, conforme detalhado na Tabela 3.

Tabela 3 Classificação dos Artigos

Sigla da Categoria	Categorias	Subcategorias
C1	Metodologia	A - <i>Survey</i> B – Revisão Sistemática C - Estudo de Caso D - Modelagem
C2	Abordagem	A - Qualitativa B - Quantitativa C - Qualitativa e Quantitativa
C3	Nível de Decisão	A - Estratégico B - Tático C - Operacional
C4	Desafios	A - Grande Volume de Dados B - Integração de Diferentes Sistemas C - Seleção adequada de algoritmos de aprendizado de máquina D - Seleção correta de técnicas de análise de Dados E - Garantir segurança e privacidade dos dados coletados F - Treinar e Capacitar os Profissionais G – Custos de Investimentos H – Indisponibilidade de Dados I - Falta de padronização na coleta e pré-processamento de dados J - Interpretabilidade limitada dos modelos de aprendizagem K - Disponibilidade limitada de dados rotulados L - Escalabilidade limitada dos modelos de aprendizagem M - Generalização limitada dos modelos de aprendizagem P - Integração com Processos de Manutenção Existentes

Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

3 Resultados

A análise dos resultados foi dividida em duas etapas: análise preliminar e análise classificatória.

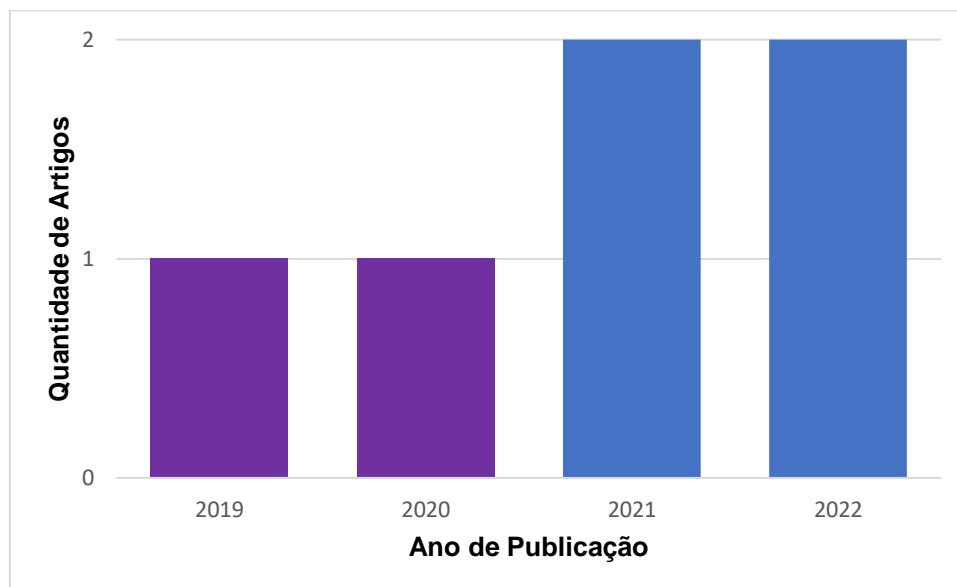
3.1 Análise preliminar

A análise preliminar teve como objetivo a quantificação de publicações, listadas por ano, periódico, país de publicação, quantidade de publicações por autor, e por relacionamento de palavras-chaves.

3.2.1 Evolução da produção científica

O gráfico da Figura 2 apresenta a quantidade de publicações por período, e evidência um crescimento das publicações do tema deste trabalho, entre 2020 há 2021.

Figura 2 - Artigos Publicados por Período



Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

3.2.2 Relação de periódicos das publicações

A Tabela 4 representa o número de publicações por periódico e país do periódico, sendo possível concluir a partir desta que, houve uma homogeneidade no número de publicações por revista, entre os anos de 2019 e 2022 (uma publicação por periódico), e que Holanda representa a maioria dos periódicos, com 4 revistas pertencentes a este país.

Tabela 4 Número de Publicações por Periódico e País do Periódico

Periódico	País	Qtde.Publicações
Computers & Industrial Engineering	Estados Unidos	1
Computers in Industry	Holanda	1
Reliability Engineering & System Safety	Reino Unido	1
Safety Science	Holanda	1
Procedia Computer Science	Holanda	1
International Journal of Production Economics	Holanda	1

Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

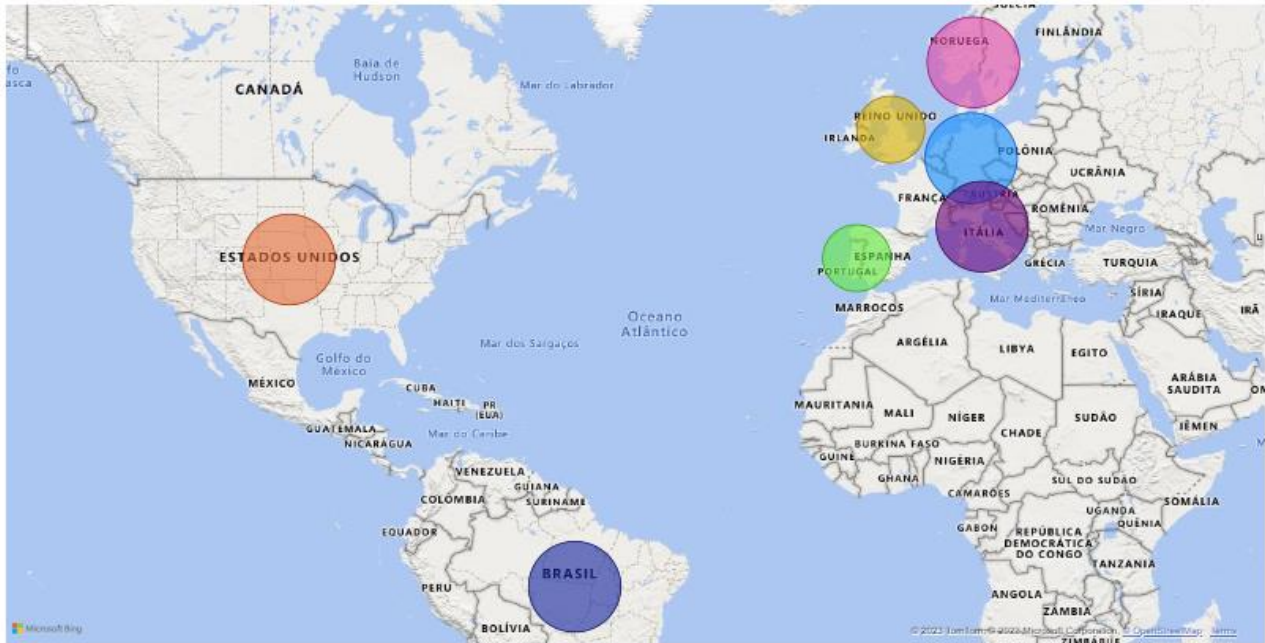
3.2.3 Identificação da distribuição geográfica das publicações

A Figura 3 representa a quantidade de publicações por país, e evidência que cinco países (Estados Unidos, Brasil, Noruega, Alemanha, Itália) publicaram duas vezes. Sendo também possível verificar que, Reino Unido e Portugal publicaram uma única vez.

Figura 3 Quantidade de Publicações por País

Publicações por Países

● Alemanha 2 ● Brasil 2 ● Estados Unidos 2 ● Italia 2 ● Noruega 2 ● Portugal 1 ● Reino Unido 1



Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

3.2.4 Identificação da quantidade de publicações por autor

Em relação ao número de autores com uma ou mais publicações é possível concluir que vinte e nove autores publicaram somente uma vez, e uma autora, publicou duas vezes. Com relação as duas publicações, foi realizada pela autora Ilenia Zennaro do Departamento de Administração e Engenharia, da Universidade de Pádua, em Vicenza, Itália.

3.2.5 Relacionamento de palavras-chaves

Para o relacionamento de palavras-chaves, utilizou o software VOSviewer para facilitar a indexação dos artigos e visualização das palavras-chaves e conexões. Na Figura 4 foram apresentadas as principais palavras chaves indexadas nos artigos estudados para posterior análise da relação entre elas.

Figura 4 - Relacionamento de Palavras Chaves



Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

Analisou-se as relações entre as palavras chaves que apareceram em mais de um artigo, encontrando 5 grupos de palavras-chaves. Os termos mais citados e que se conectam com os demais são: “*predictive maintenance*” e “*machine learning*”, seguidos por “*artificial intelligence*”, “*maintenance*” e “*decision support system*”.

3.2 Análise de classificação

A segunda etapa da análise, consistiu na classificação dos artigos selecionados nas categorias e subcategorias definidas pelo autor, para sintetizar o conhecimento científico sobre o tema Manutenção Preditiva com *Machine Learning* na Indústria.

A Tabela 5 apresenta o resumo da classificação dos artigos, de acordo com a definição apresentada na Tabela 3.

Tabela 5 - Sumário da Classificação dos Artigos

Artigo	C1	C2	C3	C4
[1]	B	A	A	CNP
[2]	B	A	A	ABCDEF
[3]	A	A	AB	HIJKLM
[4]	C	B	AB	ABCFG
[5]	CD	B	B	CG
[6]	C	B	A	FHP

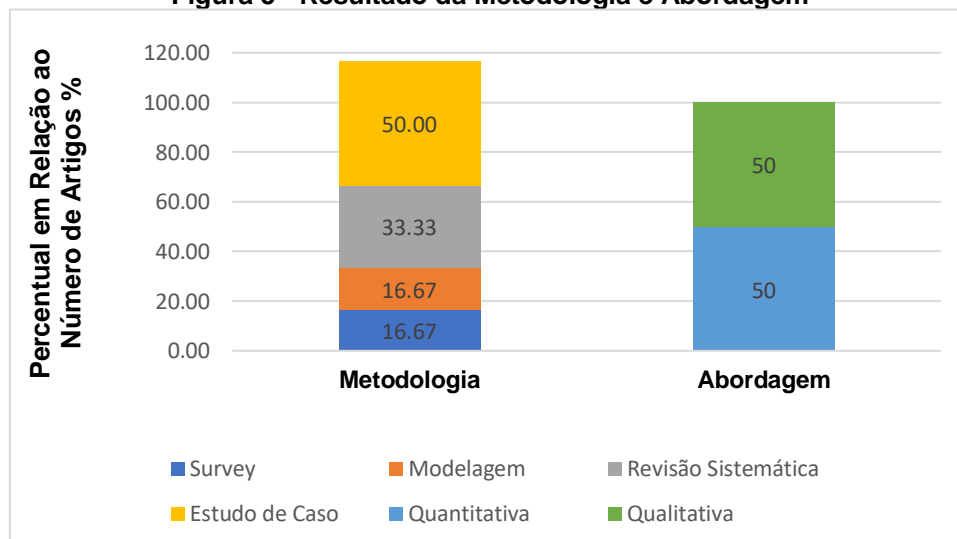
Fonte: Autor

3.2.1 Categorias: Metodologia e Abordagem

A Figura 5 apresenta os resultados da classificação dos artigos nas categorias metodologia (C1) e suas respectivas subcategorias (A, B, C, D), e categoria abordagem (C2) e suas respectivas subcategorias (A, B e C).

Como mostra a Figura 5, na categoria metodologia destacam-se as subcategorias: Estudo de caso, C, que correspondeu a 50% das publicações analisadas, e, revisão sistemática, B, que apareceu em 33,33% dos artigos selecionados. E por fim, as subcategorias *Survey* e Modelagem (A e D), foram encontradas em apenas 16,67% das publicações. Quanto à categoria abordagem, houve uma homogeneidade das publicações, 50% das publicações se enquadram na subcategoria Qualitativa, A, e os outros 50 % das publicações examinadas se encontram na subcategoria Quantitativa, B.

Figura 5 - Resultado da Metodologia e Abordagem

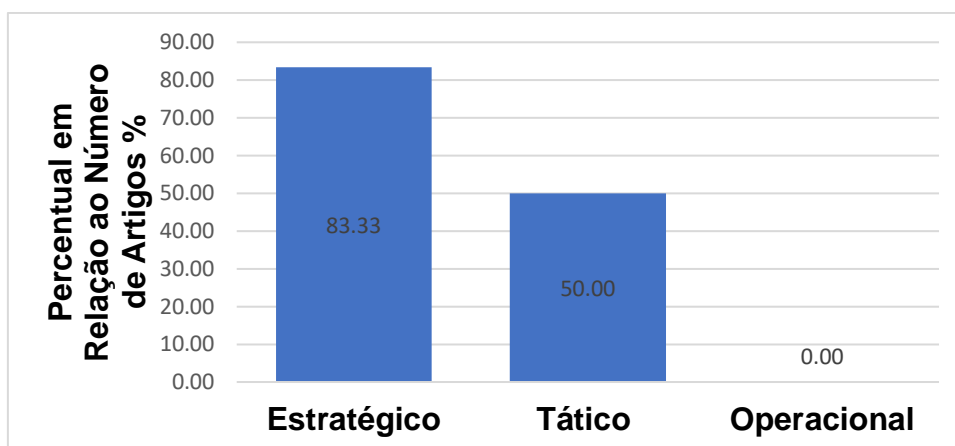


Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

3.2.2 Categoria: Nível de decisão

A Figura 6 apresenta o resultado da análise dos artigos quanto ao nível de decisão da categoria e suas respectivas subcategorias.

Figura 6 - Resultados Nível de Decisão



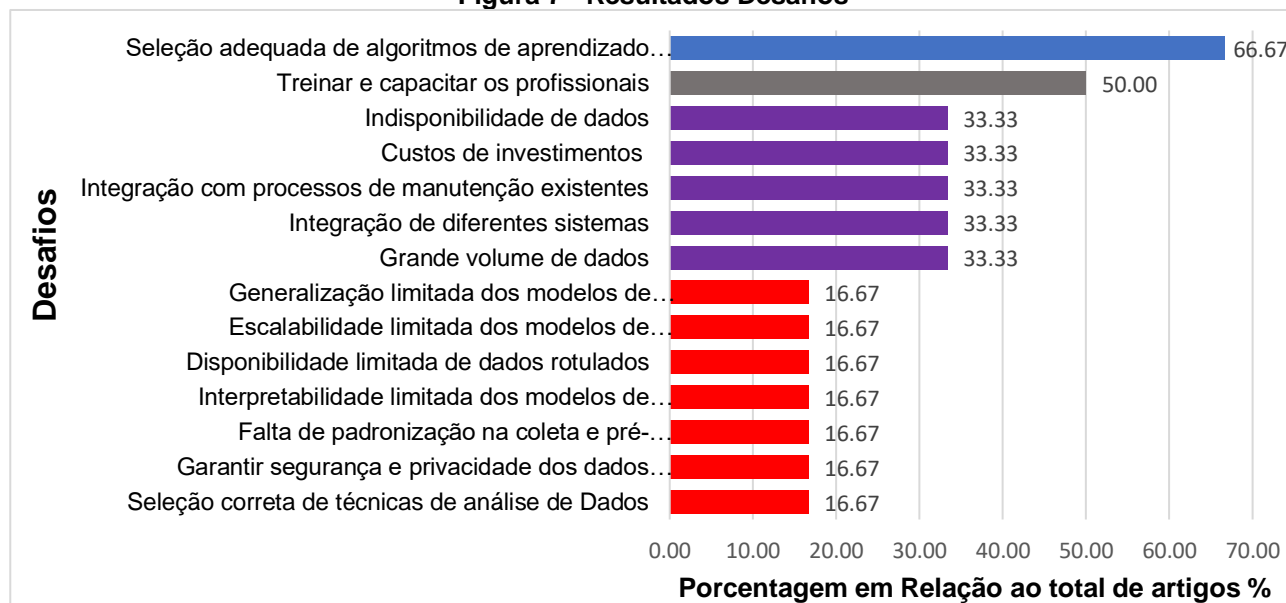
Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

A análise dos artigos revelou que a maioria das publicações está classificada na subcategoria Estratégico, A, totalizando 83,33% artigos. A subcategoria Tático, B, apareceu em 66,67%, dos artigos examinados, e, a subcategoria Operacional, C, não apareceu em nenhum dos artigos.

3.2.4 Categoria: Desafios

A Figura 7 apresenta o resultado da análise dos artigos quanto aos Desafios encontrados para implantação e operação de *machine learning* na manutenção preditiva e suas subcategorias.

Figura 7 - Resultados Desafios



Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

Como mostra a Figura 7, na categoria Desafios destacam-se as subcategorias: Seleção adequada de algoritmos de aprendizado de máquina, C, que correspondeu a 66,67% das publicações analisadas, e, Treinar e capacitar os profissionais, F, que apareceu em 50% dos artigos selecionados. Em seguida, aparecem cinco subcategorias, em 33,33 % dos artigos examinados: Indisponibilidade de dados, H, Custos de investimentos, G, Integração com processos de manutenção existentes, P, Integração de diferentes sistemas, B, Grande volume de dados, A.

Por fim, sete subcategorias representam 16,67 % das publicações analisadas: Generalização limitada dos modelos de aprendizagem, M, Escalabilidade limitada dos

modelos de aprendizagem, L, Disponibilidade limitada de dados rotulados, K, Interpretabilidade limitada dos modelos de aprendizagem, J, Falta de padronização na coleta e pré-processamento de dados, I, Garantir segurança e privacidade dos dados coletados, E, Seleção correta de técnicas de análise de Dados, D.

4 Considerações Finais

De acordo com o protocolo definido para o desenvolvimento deste artigo, foram selecionados 6 artigos para investigação. A análise quantitativa mostra um crescimento entre 2020 e 2021 no número de publicações, contudo, não é possível definir uma elite de pesquisadores, tendo em vista que apenas uma autora se destacou com a publicação de dois artigos.

Em relação aos periódicos, houve uma homogeneidade no número de publicações por periódico, sendo que 4 periódicos estão vinculados ao mesmo país (Holanda). Também não há uma predominância em relação aos países que mais publicam, ocorrendo uma homogeneidade de publicações entre países (duas publicações por país), com somente Reino Unido e Portugal com uma publicação a menos do que os outros países.

Uma análise dos artigos em categorias e subcategorias proporcionou um melhor entendimento do panorama atual do conhecimento acerca da aplicação do aprendizado de máquina na manutenção preditiva na indústria. Os resultados indicam maior desenvolvimento de estudos de casos, com abordagens quantitativas, seguidos por revisão sistemática com abordagens qualitativas.

Em relação a classificação do nível estratégico dos artigos, a maioria dos artigos se concentram no nível estratégico (83,33%), seguido pelos artigos que se classificam como tático (50%). Nenhum artigo analisado se encaixou como operacional.

Já para os desafios enfrentados pelas empresas no processo de aplicação e operação de *machine learning* na manutenção preditiva, se destaca como os maiores desafios nos trabalhos selecionados, seleção adequada de algoritmos de aprendizado de máquina (66,67%) e treinar e capacitar os profissionais (50 %).

Com base nas tendências mencionadas acima, observa-se um conjunto de possibilidades para a realização de estudos de novas pesquisas. Existe grande potencial para o desenvolvimento de pesquisas quantitativas, com ênfase em modelagem, e estudos de casos, devido ao potencial dos modelos de *machine learning* em contribuir para a manutenção preditiva. Também existe uma brecha para realização de artigos com metodologia *survey*, já que só foram encontrados um artigo com essa metodologia nas publicações analisadas.

Existe uma lacuna na literatura analisada, que indica uma oportunidade de desenvolver pesquisas nos níveis estratégicos, táticos e operacionais na manutenção preditiva com *machine learning*, já que existem poucas pesquisas nessa área.

5 Conclusões

Este artigo apresenta uma pesquisa sistemática com o objetivo de coletar, selecionar, examinar, compreender e sintetizar as publicações atuais sobre manutenção preditiva com *machine learning* na indústria. Esse tema é considerado atual principalmente pelo fato de estarmos vivendo a quarta revolução industrial (Indústria 4.0), onde ocorre os avanços de tecnologias e principalmente avanços em interconectividade, onde máquinas, dispositivos e sistemas são capazes de se comunicar e cooperar entre si (necessário para a coleta de dados que será usada no algoritmo de ML). Dada a limitação de estudos nessa temática, essa revisão pode oferecer perspectivas alternativas para outros pesquisadores e, ao mesmo tempo, estimular a realização de pesquisas visando aprimorar a eficácia do uso e aplicação de *machine learning* na manutenção preditiva na indústria.

Referências

- ARENA, S.; FLORIAN, E.; ZENNARO, I.; ORRÙ, P. F.; SGARBOSSA, F. A novel decision support system for managing predictive maintenance strategies based on machine learning approaches. **Safety Science**, v. 146, p. 105529, 1 fev. 2022.
- CARVALHO, T. P.; SOARES, F. A. A. M. N.; VITA, R.; FRANCISCO, R. da P.; BASTO, J. P.; ALCALÁ, S. G. S. A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. **Computers & Industrial Engineering**, v. 137, p. 106024, 1 nov. 2019.
- CARVALHO, G. G. de; TIOSSO, F.; REIS, H. M. INDÚSTRIA 4.0: adoção de tecnologias como fator de competitividade. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 2, p. 256–268, 18 dez. 2020.
- DALZOCHIO, J.; KUNST, R.; PIGNATON, E.; BINOTTO, A.; SANYAL, S.; FAVILLA, J.; BARBOSA, J. Machine learning and reasoning for predictive maintenance in Industry 4.0: Current status and challenges. **Computers in Industry**, v. 123, p. 103298, 1 dez. 2020.
- EDDARHRI, M.; ADIB, J.; HAIN, M.; MARZAK, A. Towards predictive maintenance: the case of the aeronautical industry. **Procedia Computer Science**, 17th International Conference on Future Networks and Communications / 19th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing / 12th International Conference on Sustainable Energy Information Technology (FNC/MobiSPC/SEIT 2022), August 9-11, 2022, Niagara Falls, Ontario, Canada. v. 203, p. 769–774, 1 jan. 2022.
- FLORIAN, E.; SGARBOSSA, F.; ZENNARO, I. Machine learning-based predictive maintenance: A cost-oriented model for implementation. **International Journal of Production Economics**, v. 236, p. 108114, 1 jun. 2021.
- HEYMANN, H.; SCHMITT, R. H. Machine Learning Pipeline for Predictive Maintenance in Polymer 3D Printing. **Procedia CIRP**, 19th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations. v. 117, p. 341–346, 1 jan. 2023.
- KHARITONOV, A.; NAHHAS, A.; POHL, M.; TUROWSKI, K. Comparative analysis of machine learning models for anomaly detection in manufacturing. **Procedia Computer Science**, 3rd International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing. v. 200, p. 1288–1297, 1 jan. 2022.
- ORDENO, T.; ASSUMPÇÃO, N.; MOURA, J.; SAMED, M. Food bank in the context of humanitarian assistance supply chain: Systematic research. **International Journal of Engineering Research Updates**, v. 1, p. 015–028, 30 dez. 2021.
- PAGANI, R.; KOVALESKI, J.; RESENDE, L. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 104, p. 1–27, 15 set. 2015.
- PAGANI, R.; KOVALESKI, J.; RESENDE, L. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. **Ciência da Informação**, v. 46, 6 maio 2018.
- RIHI, A.; BAÏNA, S.; MHADA, F.; ELBACHARI, E.; TAGEMOUATI, H.; GUERBOUB, M.; BENZAKOUR, I. Predictive maintenance in mining industry: grinding mill case study. **Procedia Computer Science**, Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 26th International Conference KES2022. v. 207, p. 2483–2492, 1 jan. 2022.
- ROQUE, A. S.; KREBS, V. W.; FIGUEIRO, I. C.; JAZDI, N. An analysis of machine learning algorithms in rotating machines maintenance. **IFAC-PapersOnLine**, 14th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems IMS 2022. v. 55, n. 2, p. 252–257, 1 jan. 2022.

THEISLER, A.; PÉREZ-VELÁZQUEZ, J.; KETTELGERDES, M.; ELGER, G. Predictive maintenance enabled by machine learning: Use cases and challenges in the automotive industry. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 215, p. 107864, 1 nov. 2021.

XUN XU; YUQIAN LU; BIRGIT VOGEL-HEUSER; LIHUI WANG. Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 61, p. 530–535, 1 out. 2021.

YEARDLEY, A. S.; EJEH, J. O.; ALLEN, L.; BROWN, S. F.; CORDINER, J. Integrating machine learning techniques into optimal maintenance scheduling. **Computers & Chemical Engineering**, v. 166, p. 107958, 1 out. 2022.