

## Manutenção na Indústria 4.0: Tendências via Análise Bibliométrica 2009-2019

**Thiago Augusto Silva dos Reis (UNIMEP)**  
thiagoasreis@gmail.com

**Fernando Celso de Campos (UNIMEP)**  
fernando.campos@unimep.br



*Tendo como missão principal a garantia da melhor disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, a manutenção industrial passou a ter função estratégica dentro das organizações. Alguns autores destacam que realizar um adequado acompanhamento desses indicadores aliado às boas práticas de gestão e serviços de manutenção tendem a trazer vantagens competitivas. Com a Indústria 4.0, os processos tendem a apresentar um melhor autocontrole e autogerenciamento, com a utilização de ferramentas adequadas, como a coleta e tratamento de dados. Neste novo cenário industrial, mudanças nas atividades e serviços de manutenção são inevitáveis. Com objetivo de identificar os conceitos, características e aplicações deste novo modelo de manutenção, essa pesquisa utiliza de uma análise bibliométrica, suportada por softwares como o BibExcel e o UCINET, para uma análise detalhada do panorama geral de publicações, identificando uma rede de autores e suas contribuições, bem como quais as aplicações e tendências atuais da manutenção inserida em um ambiente 4.0. Busca-se, assim, contribuir para o entendimento deste novo cenário nas atividades de manutenção.*

*Palavras-chave: Indústria 4.0, manutenção, manutenção inteligente, manutenção 4.0, bibliometria.*

## 1. Introdução

Além de ser reconhecida como um elemento importante para a geração de receita para as organizações, as operações de manutenção têm sido consideradas um ponto importante para a boa gestão de uma organização, visando a garantia da melhor disponibilidade possível dos equipamentos. (MOSTAFA *et al.*, 2015 *apud* REIS; CAMPOS, 2019).

Historicamente, os processos de manutenção eram executados apenas quando estritamente necessários, como no caso de quebra de equipamento ou paradas esporádicas. Adotando uma análise mais crítica, com foco em eficiência e produtividade, nota-se que a otimização da manutenção pode ser um grande aliado à melhoria de indicadores. O aumento da competitividade e a busca por redução de desperdícios trouxeram esta devida importância à área, pelo fato de poder garantir, também, maior qualidade e confiabilidade durante todo o processo.

De acordo com Sezer *et al.* (2018), a manutenção tem sido vista como uma estratégia de longo prazo, não mais apenas em nível operacional restrito representando um custo inevitável. Novas tecnologias destinam-se a transformar as práticas de manutenção em um valor agregado, colaborando com o fornecimento de altos níveis de eficiência e confiabilidade para apoio às necessidades e objetivos da produção.

A tendência atual dos negócios é a introdução dos conceitos e ferramentas da Indústria 4.0 nos processos de fabricação, incluindo conceitos de *Big Data*, *Internet of Things* (IoT) e *Cloud Computing*. Da mesma forma, também podem ser utilizados na manutenção preditiva para previsão de falhas (SPENDLA *et al.*, 2017).

O presente artigo, em suas próximas seções, objetiva identificar os conceitos, características, relações e aplicações com associação do conceito de Indústria 4.0 e as atividades de manutenção.

## 2. Indústria 4.0: visão geral

A Indústria 4.0 pode ser definida como sendo o estágio de introdução da Internet das Coisas (IoT) e Internet de Serviços no ambiente de manufatura, conduzindo o que era conhecido como a 3ª Revolução Industrial (mecanização, automação, tecnologia da informação,...) à 4ª Revolução Industrial (ACATECH, 2013)

Para Wang (2016), a Indústria 4.0 permite um controle da produção inteligente e flexível, utilizando-se de equipamentos, produtos, processos e ferramentas de intercomunicação e interação baseados em tecnologia de informação.

O programa visa tornar os processos de fabricação mais produtivos e conectados, incluindo as atividades de manutenção, através de tecnologias como o IoT, a Realidade Aumentada, Big Data e CPS, os chamados sistemas cyber físicos (WANG; ERKOYUNCU; ROY, 2018).

### **3. Indústria 4.0 integrada à manutenção: panorama geral**

Atualmente, a manutenção industrial é mais reativa e preventiva, aplicando a estratégia preditiva a algumas situações, a fim de aumentar a disponibilidade dos equipamentos, bem como implantar a manutenção de maneira mais econômica, reduzindo seus custos. (CACHADA *et al.*, 2018).

De acordo com Windelband (2017), espera-se que o tempo ideal de manutenção possa ser reconhecido por produtos ou empresas inteligentes com a implementação da Indústria 4.0, pela capacidade de fornecimento e tratamento de dados sobre cargas, máquinas e condições de uso em tempo real. Pelo mesmo motivo, pode-se minimizar os tempos de *downtime* e de ociosidade das instalações de produção.

Poór, Basl e Zenisek (2019) propõe oportunidades para as atividades de manutenção, utilizando como base a conexão da área com conceitos da Indústria 4.0, como a utilização de sistemas cyber físicos, computação em nuvem e Internet das Coisas (IoT).

Justus *et al.* (2019) apresenta uma abordagem para levantamento de requisitos funcionais aliados à utilização de tecnologias 4.0 para a manutenção preditiva, obtendo uma arquitetura referencial para avaliação das tecnologias modernas que melhor atendem ao conceito.

As próximas subseções integram os conceitos e ferramentas 4.0 com as atividades de manutenção, apresentando definições e casos de sucesso.

#### **3.1. Machine Learning na manutenção**

Pela utilização de um método de análise de dados que automatiza a construção de modelos analíticos para a identificação de padrões e tomada de decisão com o mínimo de intervenção humana, a ferramenta de *Machine Learning* tem sido cada vez mais utilizada em processos produtivos, sendo a maneira mais eficiente de se implementar a Inteligência Artificial em processos produtivos.

A ferramenta permite que computadores e sistemas identifiquem padrões por meio da coleta de dados para a execução de diferentes atividades, como a previsão de degradação e de falhas

em peças e equipamentos. Por este motivo, a manutenção preditiva é uma aplicação popular de *Machine Learning* em sistemas de produção. (STRAUß *et al.*, 2018)

Esta ferramenta pode ser dividida em duas classificações: a aprendizagem supervisionada e a não supervisionada. A supervisionada é aquela na qual as informações sobre a ocorrência de falhas estão presentes no conjunto de dados de modelagem, enquanto a não supervisionada é aquela onde as informações de logística e/ou processo estão disponíveis sem existência dos dados de manutenção (SUSTO *et al.*, 2015 *apud* REIS; CAMPOS, 2020).

Baseando-se na aprendizagem supervisionada, com um banco de dados de um motor de turbocompressor de uma aeronave, Mathew *et al.* (2017) utiliza de um estudo comparativo dos algoritmos para previsão de vida útil do equipamento.

Traini *et al.* (2019) apresenta um *framework* para implantação de uma ferramenta de monitoramento para prevenção de quebras em uma máquina de usinagem, através da conexão homem-máquina. Os principais objetivos para a ferramenta em questão é a previsão de quando se torna realmente necessário realizar atividades de manutenção, possibilitando uma melhor tomada de decisão e melhor resolução de problemas.

### **3.2.Sistemas Cyber Físicos (CPS) na manutenção**

Sistemas cyber físicos são sistemas integrados de computação, comunicação e controle (ZHOU; LIU; ZHOU, 2015).

Os *cyber-physical systems* (CPS) são tecnologias emergentes para a troca de informações entre o ser humano, máquinas e softwares da Indústria 4.0. São normalmente aplicados na Manutenção Produtiva Total (TPM) para prever um desempenho instável em máquinas (LI; LAU, 2019)

Ferreira *et al.* (2018) descreve o processo de implementação de um piloto de manutenção proativa na Indústria 4.0 para uma máquina, tendo como principal objetivo a redução dos custos de manutenção por meio de técnicas de monitoramento.

Yang e Lin (2019) apresenta um projeto, desenvolvimento e implementação de uma plataforma de Big Data baseada em sistemas cyber físicos sob uma arquitetura 4.0, que utiliza dados sintéticos gerados e reais coletados de uma fábrica de caixas.

### **3.3. Internet of Things (IoT) na manutenção**

*Internet of Things* (IoT) é a conexão entre a rede de objetos físicos, ambientes e equipamentos por meio de dispositivos eletrônicos que permitem a coleta e troca de informações (ALMEIDA, 2019).

Com a abordagem de IoT, Goundar *et al.* (2015) analisa a vibração e temperatura de um motor de indução para reunir dados específicos e prever falhas nos rolamentos, além de intervir na redução do tempo de *downtime*.

Baldissarelli e Fabro (2019) conclui que a manutenção pode coordenar melhor as necessidades de interconexão com outros departamentos, suportados pela Internet das Coisas, podendo oferecer soluções mais benéficas e vantajosas, aumentando o nível de eficiência.

### **3.4. Big Data e análise de dados na manutenção**

O *Big Data* utiliza de novos métodos de processamento para obtenção mais rápida de informações valiosas de vários tipos de dados, a fim de obter um entendimento profundo e se fazer descobertas para uma tomada de decisão mais precisa (ZHOU; LIU; ZHOU, 2015).

Para a obtenção de uma tomada de decisão mais precisa, o *Big Data* refere-se ao volume, veracidade, variedade, velocidade e valor da pesquisa disponível e de dados, que exigem formas inovadoras e econômicas de se processar informações (BUMBLAUSKAS *et al.*, 2017).

Zhang *et al.* (2017) propõe um novo método de produção mais limpa, aprimorado por uma integração sistemática do gerenciamento do ciclo de vida do produto e análise de *Big Data*, tratando de aplicações baseadas na análise de dados, especificamente nos processos produtivos e de manutenção.

Canizo *et al.* (2017) apresenta a evolução de uma solução de manutenção preditiva para um ambiente de *Big Data*, com objetivo de prever falhas em turbinas eólicas usando uma solução orientada a dados, através de um gerador de modelo preditivo e um agente de monitoramento.

### **3.5. Realidade Aumentada (AR) na manutenção**

Geralmente, a Realidade Aumentada é entendida como uma tecnologia que sobrepõe informações virtuais sobre objetos do mundo real para criar ilusões de imagens para simulação (WANG; ERKOYUNCU; ROY, 2018).

Scurati *et al.* (2018) cita que a principal vantagem do uso de AR para instruções de manutenção está relacionada à intuitividade associada a essa técnica, por permitir que as informações sejam exibidas diretamente no objeto a que se referem.

De acordo com Cachada *et al.* (2018), a ferramenta contribui para uma reação e recuperação mais rápidas e eficientes para a ocorrência de falhas, quando comparadas aos procedimentos em papel. Pode, também, ajudar a reduzir o tempo e erros das tarefas de manutenção (MASONI *et al.*, 2017).

Ceruti *et al.* (2019) sugere uma possível integração das tecnologias da Indústria 4.0 com a manutenção aeronáutica. Segundo os autores, a Realidade Aumentada pode apoiar os operadores com o fácil manuseio, podendo resultar numa redução da carga de trabalho e do tempo necessário para a conclusão de tarefas, além de um aumento na confiabilidade, como consequências da redução de erros cometidos com a utilização de manuais de manutenção com base na Realidade Aumentada.

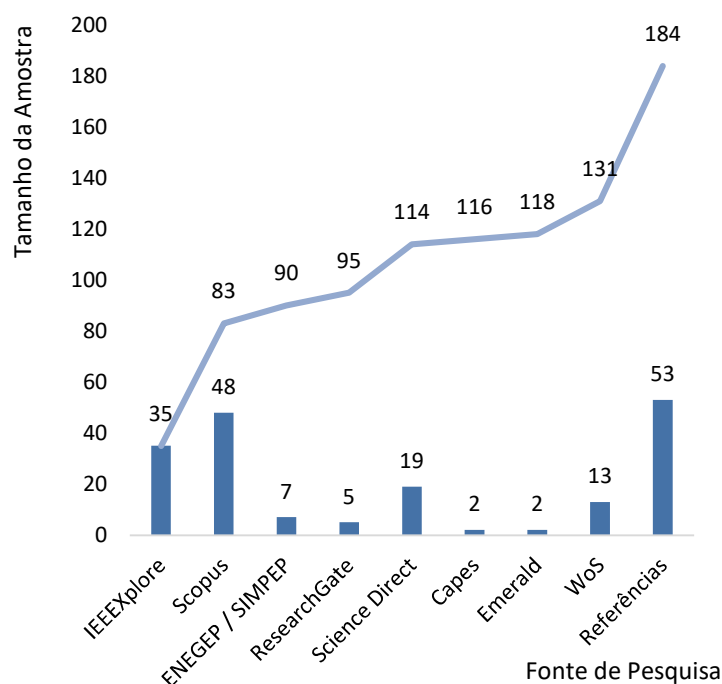
#### **4. Metodologia**

Foram realizadas duas etapas metodológicas: uma pesquisa bibliográfica e uma análise bibliométrica, utilizando determinados critérios e softwares (BibExcel®, UCINET® e Microsoft Excel®). Para ambas as etapas de pesquisa, determinou-se o período de publicação de 2009 a 2019 como critério para estudo.

##### **4.1. Pesquisa Bibliográfica**

A etapa da pesquisa bibliográfica foi realizada com busca e coleta de publicações em bases de dados específicas, selecionadas com base em sua importância e volume de publicações acerca da área (IEEEExplore, Scopus, ResearchGate, ScienceDirect, Emerald e Web of Science), diretamente no Portal de Periódicos da CAPES e, também, em eventos nacionais (o Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP e o Simpósio de Engenharia de Produção – SIMPEP). Além disso, foram encontrados artigos de grande relevância para o tema através da técnica bola-de-neve, durante a análise das referências citadas nos artigos já coletados. Abaixo, na Figura 1, encontra-se um gráfico mostrando a evolução da pesquisa, com base no aumento da amostra de artigos selecionados, de acordo com a fonte utilizada durante o processo.

Figura 1: Coleta de Artigos para Composição da Amostra



Fonte: Autores, 2020

Para a amostra da pesquisa, considerou-se o período de publicação entre 2009 e 2019, conforme determinado. Ao todo, 184 artigos sobre relações entre manutenção e ferramentas 4.0 foram encontrados e selecionados.

A grande maioria dos artigos da amostra foram retirados da base de dados Scopus e das referências bibliográficas. Importante ressaltar que a Scopus é a que agregou mais artigos à amostra por ter sido uma das primeiras a ser consultada. Para as fontes de dados subsequentes, desconsiderou-se publicações duplicadas.

Através de um estudo sobre o conteúdo dos artigos selecionados, pôde-se notar uma predominância do assunto tratado de maneira mais geral (20,7% da amostra relaciona Indústria 4.0 com o tema manutenção). Além disso, as relações entre manutenção preditiva e ferramentas 4.0 (13,6%), realidade aumentada e manutenção (7,3%), IoT e manutenção (5,7%), Big Data com a manutenção preditiva (5,1%) e IoT na manutenção preditiva (4,8%) são outros temas bastante tratados na amostra, com certa predominância em relação às demais.

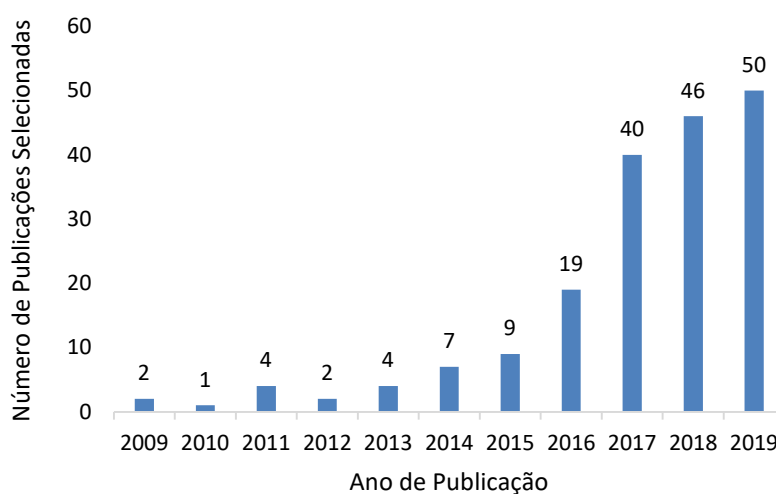
## 4.2. Análise Bibliométrica

A etapa de análise bibliométrica foi realizada mediante a definição de critérios de pesquisa, com base nos 184 artigos da amostra. Os softwares BibExcel®, UCINET® e Microsoft Excel® são utilizados para organização, tratamento e análise dos dados.

A bibliometria é uma técnica de medição dos índices de produção e disseminação do conhecimento científico (ARAUJO, 2006). Para a análise bibliométrica, considera-se apenas artigos de periódicos e eventos, excluindo-se capítulos de livros, editoriais e relatórios (PERUCCI; CAMPOS, 2017).

Limitando-se o campo de pesquisa para publicações entre os anos de 2009 e 2019, pode-se notar um número crescente de publicações sobre o tema a partir do ano de 2015, 4 (quatro) anos após o lançamento do conceito de Indústria 4.0, na Alemanha, como é possível notar no gráfico da Figura 2.

Figura 2: Frequência de Artigos Seleccionados (Ano de Publicação)



Fonte: Autores, 2020

Além do ano de publicações, outras informações são levantadas com apoio da análise bibliométrica, como por exemplo, as palavras-chave, os autores e seus países e instituições de filiação, o meio de divulgação, além de uma análise em cima das referências citadas. Para se constatar as obras referências nesta área de pesquisa, é desenvolvida, também, uma rede de cocitação entre os trabalhos.

Os resultados deste tratamento bibliométrico é descrito, em detalhes, na próxima seção.



## 5. Resultados e Discussão

Após definidos os critérios de pesquisa e analisados os dados após tratamento bibliométrico, pode-se notar algumas tendências do tema sobre a amostra de publicações selecionadas.

Como mostrado na Figura 3, há um número crescente de publicações a partir do ano de 2015, sendo 2019 o ano com o maior número de artigos.

Os 184 artigos da amostra têm autoria de 615 autores distintos, no total. Dentre eles, 4 (quatro) se destacam. Luca Fumagalli, do *Politecnico di Milano*, Itália, têm 6 dos seus artigos na amostra selecionada; Rajkumar Roy, da *Cranfield University*, Reino Unido, tem 5 e Erikki Jantunen, do *VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.* e Marco Macchi, também do *Politecnico di Milano*, com 4 publicações selecionadas.

A Tabela 1 traz uma relação dos países com maior número de publicações na amostra.

Tabela 1: Países com maior número de artigos na amostra.

Pais	Nº Artigos	Pais	Nº Artigos
Itália	26	França	14
Alemanha	25	EUA	13
Reino Unido	18	Brasil	13
China	14	Portugal	8
Suécia	14	Espanha	8

Fonte: Autores, 2020.

Ao todo, a amostra contempla publicações de 44 países. A Europa, com seus países, representa a grande maioria da autoria dos 184 artigos selecionados. Destes, 165 tem pelo menos um autor de filiação europeia. A Itália e a Alemanha são os países que mais apresentam artigos com autores filiados na amostra, com 26 e 25, respectivamente.

A Tabela 2 apresenta a relação de universidades, instituições e organizações com maior número de artigos com autores filiados na amostra. O *Politecnico di Milano*, da Itália, é o instituto com maior representatividade entre os artigos da amostra, tendo 8 (oito) com pelo menos um autor de sua filiação. A *Norwegian University of Science and Technology*, da Noruega, a *Cranfield University*, do Reino Unido, a *University of Patras*, da Grécia e o instituto italiano *Politecnico di Bari* são outras instituições com destaque na amostra.

Tabela 2: Instituições com maior número de artigos na amostra

Instituição	Nº Artigos
Politecnico di Milano (Itália)	7
Norwegian University of Science and Technology (Noruega)	6
Cranfield University (Reino Unido)	4
University of Patras (Grécia)	4
Politecnico di Bari (Itália)	4

Fonte: Autores, 2020.

Quanto ao meio de publicação dos artigos selecionados para o estudo, há um destaque para o *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, com 5 publicações selecionadas, e para o *Journal of Intelligent Manufacturing*, com 4 artigos. O *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, o *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, *MM Science Journal* e os *Procedia CIRP* e *Procedia Manufacturing* são outros meios que apresentam relevância diante as publicações que relacionam as atividades de manutenção com conceitos de Indústria 4.0.

Além de *journal* e revistas, os eventos e conferências, resultam em um grande índice de publicações sobre esta relação. O *IFAC World Congress*, evento de maior predominância na amostra, teve 6 publicações abordando diretamente este tema, sendo selecionadas para esta análise bibliométrica. Outros eventos que apresentam destaque na amostra são o *CIRP Conference on Manufacturing Systems*, com 5 (cinco) publicações selecionadas, assim como a *International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*. Além destes eventos, a Conferência ETFA do IEEE e o ENEGEP também se destacam, ambos com 4 artigos retirados de seus anais para a amostra.

Dentre as palavras-chave, termos como ‘Indústria 4.0’, ‘manutenção preditiva’, ‘*Internet of Things* (IoT)’, ‘*Cyber-physical systems*’, ‘realidade aumentada’, ‘*cloud computing*’ e ‘*machine learning*’ têm predominância perante a amostra. Este fato nos traz as tendências do cenário atual para a manutenção, desde as ferramentas mais utilizadas até como a prática de manutenção mais bem adequada ao novo cenário industrial.

Analisando-se as referências de cada artigo da amostra, encontrou-se um pouco mais de 4.000 obras citadas, num total de 4700 itens de referência bibliográfica. Dentre estas obras, a Tabela 3 destaca as 6 mais citadas nos 184 artigos selecionados.

Tabela 3: Obras mais referenciadas nos artigos da amostra.

Obra	Nº de Citações
J. Lee, B. Bagheri and H.-A.A. Kao, 2015, "A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems"	20
R.K. Mobley, 2002, "An introduction to predictive maintenance"	17
A. Muller, A. Crespo-Marquez and B. Iung, 2008, "On the concept of e-maintenance: review and current research"	16
M. Hermann, T. Pentek and B. Otto, 2015, "Design principles for industrie 4.0 scenarios"	12
H.M. Hashemian and W.C. Bean, 2011, "State-of-the-art predictive maintenance techniques"	10
L. Monostori et al., 2016, "Cyber-physical systems in manufacturing"	10

Fonte: Autores, 2020.

Com 20 citações, a obra de Lee, Bagheri e Kao apresenta uma arquitetura para sistemas cyber físicos voltados para a manufatura, promovendo uma instrução para indústrias de como se implementar a ferramenta para melhorar a qualidade e confiabilidade dos processos.

Mobley (2002) apresenta estratégias e metodologias para desenvolvimento e implementação de um programa de gestão da manutenção, utilizando-se de ferramentas preditivas.

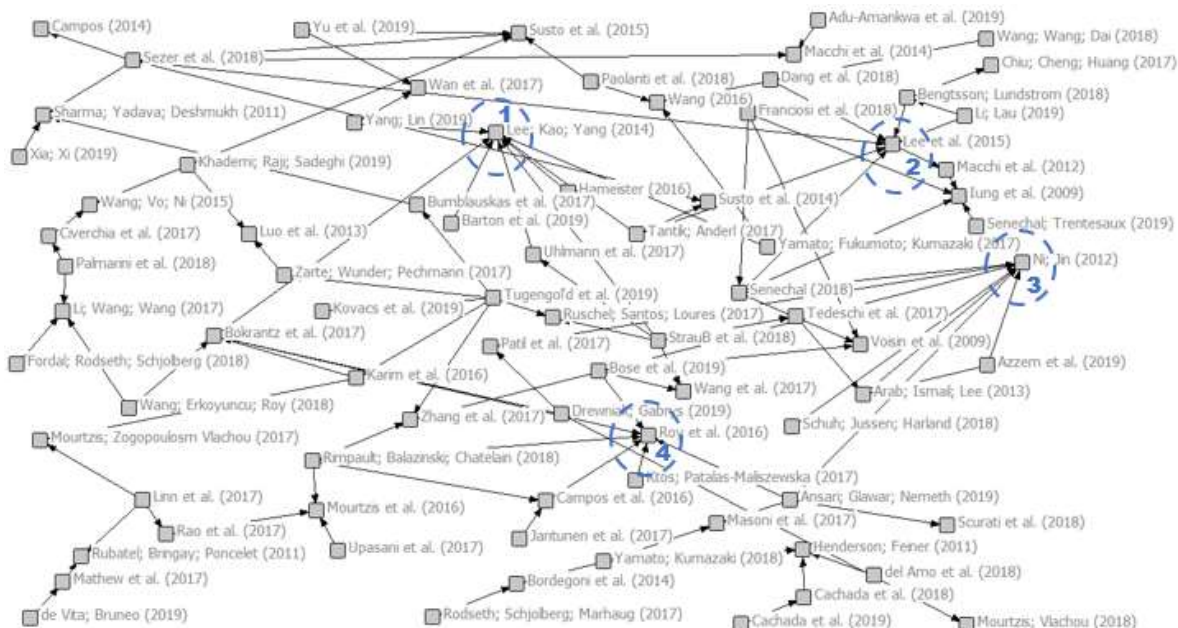
Muller, Crespo-Marquez e Iung (2008) desenvolve uma pesquisa acerca do termo *e-maintenance*, criado e disseminado nos anos 2000 baseado na busca da excelência em processos de manutenção.

Além destas 3 (três) obras, também apresentaram um relativo número de citações e destaque entre as obras citadas, Hermann, Pentek e Otto (2015), Hashemian e Bean (2011) e Monostori *et al.* (2016).

As publicações mais citadas, como listado na Tabela 3, apresentam maior reação com a manutenção preditiva, uma tendência atual da área, considerando as novas tecnologias emergentes no cenário 4.0.

Além desta análise bibliométrica dos dados, com auxílio do software UCINET® e de sua ferramenta NetDraw®, foi desenvolvida uma rede de cocitação entre os artigos da amostra, com seu núcleo principal representado na Figura 3.

Figura 3: Rede de Co-citação entre os Artigos da Amostra



Fonte: Autores, 2020.

Conforme mostrado na Figura 3, na rede de cocitação entre os artigos da amostra, destacam-se 4 (quatro) artigos entre os mais citados.

O ponto 1 da figura se refere a Lee, Kao e Yang (2014), que propõe um *framework* para um autogerenciamento de máquinas, incluindo CPS na tomada de decisão do processo de manutenção. O ponto 2 diz respeito à Lee *et al.* (2015), que discute as tendências da utilização de sistemas cyber físicos na indústria, aliando-os às operações e serviços de manutenção.

Ni e Jin (2012), representado pelo ponto 3, descreve um suporte à tomada de decisão para a gestão de atividades de manutenção em um ambiente fabril baseado na automação. Já o ponto 4, é referente a Roy *et al.* (2016), que apresenta tecnologias, como o Big Data, para a otimização dos processos da área.

## 6. Conclusão

De fato, a manutenção tem sido considerada um ponto estratégico na gestão das organizações, principalmente para a melhoria da disponibilidade dos equipamentos. Visando uma maior receita e a redução de desperdícios nos processos, a manutenção têm tido estudos acerca de melhorias em seus processos. Este fato faz com que a busca pela previsão de falhas em equipamentos e maquinários, eliminação de paradas indesejadas e inesperadas da produção e o menor custo com atividades de manutenção tenham se tornado objetivos da área.

Considerando o cenário de utilização de ferramentas 4.0 aliadas aos processos de manutenção, com auxílio da análise bibliométrica, pode-se notar predominantemente a presença de uma estratégia preditiva em estudos na área, principalmente com utilização de *Machine Learning*, CPS, IoT, Big Data e Realidade Aumentada. Dados e pesquisas referentes à manutenção preventiva neste cenário, têm tido cada vez menos destaque, em termos de publicação recente. Para futuros trabalhos, recomenda-se a aplicação de ferramentas 4.0 nas atividades de manutenção, tanto em estratégias preditivas, como preventivas.

## REFERÊNCIAS

ACATECH, **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. Final Reporto of The Industrie 4.0 Working Group, 2013.

ALMEIDA, P.S. **Indústria 4.0**. *Érica*, 2019.

ARAÚJO, C.L. **Bibliometria: Evolução Histórica e questões atuais**. *Revista em Questão*, v. 12, pp.11-32, 2006.

BALDISSARELLI, L.; FABRO, E. **Manutenção na Indústria 4.0**. *Scientia cum Industria*, v.7, pp.12-22, 2019.

BUMBLAUSKAS, D. *et al.* **Smart maintenance decision support systems (SMDSS) based on corporate Big Data analytics**. *Expert Systems with Applications*, v.90, pp.303-317, 2017.

CACHADA, A. *et al.* **Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenanc System Architecture**. In: IEEE 23<sup>rd</sup> ETFA, 2019.

CANIZO, M. *et al.* **Real-time predictive maintenance for wind turbines using Big Data frameworks**. In: IEEE ICPHM, Dallas, 2017.

CERUTI, A. *et al.* **Maintenance in aeronautics in na Industry 4.0 context: the role of AR and AM**. *Journal of Computational Design and Engineering*, v. 6, pp.516-526, 2019.

FERREIRA, L.L. *et al.* **A pilot for proactive maintenance in Industry 4.0**. In: IEEE 13<sup>th</sup> WFCS, Trondheim, 2017.

JUSTUS, A.S. *et al.* **Modelo de avaliação de tecnologias para a Indústria 4.0 aplicadas em manutenção preditiva**. In: XXVI Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP), Bauru, 2019.

LEE, J. *et al.* **Industrial Big Data analytics and cyber-physical systems for future maintenance & service innovation.** *Procedia CIRP*, v. 38, pp.3-7, 2015.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H.-A. **A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems.** *Manufacturing Letters*, v. 3, pp.18-23, 2015.

LEE, J.; KAO, H.-A.; YANG, S. **Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and Big Data environment.** *Procedia CIRP*, v.16, pp.3-8, 2014.

LI, C.H.; LAU, H.K. **Embedding CSPC database with CPS to enhance tou product safety.** In: IEEE ICIT, Melbourne, 2019.

MASONI, R. *et al.* **Supporting remote maintenance in Industry 4.0 through augmented reality.** *Procedia Manufacturing*, v.11, 1296-1302, 2017.

MATHEW, V. *et al.* **Prediction of Remaining Useful Lifetime (RUL) of turbofan engine using machine learning.** In: IEEE ICCS, Thiruvananthapuram, 2017, pp. 306-311, 2017.

MOBLEY, R.K. **An introduction to predictiv maintenance.** Butterworth-Heinemann, 2002.

MULLER, A.; MARQUEZ, A.C.; IUNG, B. **On the concept of e-maintenance: review and current research.** *Reliability Engineering & System Safety*, v.93, pp.1165-1187, 2008.

NI, J.; JIN, X. **Decision support systems for effective maintnanc operations.** *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, v.61, pp.411-414, 2012.

PERUCCI, C.C.; CAMPOS, F.C. **Técnicas de qualidade aplicadas em software: um estudo bibliométrico.** *Ciência & Tecnologia*, v.19, pp.5-15, 2016.

POÓR, P.; BASL, J.; ZENISEK, D. **Predictive Maintenance 4.0 as next evolution step in industrial maintenance development.** In: SCSE, Colombo, 2019.

REIS, T.A.S; CAMPOS, F.C. **Lean Maintenance: análise bibliométrica 2000-2018 em busca de definição, conceitos, características e aplicações.** In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), XXXIX, 2019, Santos. Anais... Rio de Janeiro: ABEPRO, 2019.

REIS, T.A.S.; CAMPOS, F.C. **Industry 4.0 influences on maintenance operation: a bibliometric analysis.** In: 21<sup>st</sup> IFAC World Congress, Berlim, 2020.

ROY, R. *et al.* **Continuous maintenance and the future – foundations and technological challenges.** *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, v.65, pp.667-688, 2016.

SCURATI, G.W. *et al.* **Covertng maintenance actions into standard symbols for augmented reality applications in Industry 4.0.** *Computer in Industry*, v.98, pp.68-79, 2018.

SEZER, E. *et al.* **An Industry 4.0-enabled low cost predictive maintenance approach for SMEs.** In: IEEE ICE/TMC, Baden-Wuerttemberg, 2018.

SPENDLA, L. *et al.* **Concepto of predictive maintenance of production Systems in accordance with Industry 4.0.** In: IEEE 15<sup>th</sup> SAMI, Herl’any, 2017.

STRAUß, P. *et al.* **Enabling of predictive maintenance in the brownfield through low-cost sensors.** In: IEEE International Conference on Big Data, Seattle, 2018.

TRAINI, E. *et al.* **Machine learning framework for predictive maintenance in milling.** *IFAC PapersOnLine*, 52-13, pp. 177-182, 2019.

WANG, K. **Intelligent Predictive Maintenance (IPdM) System – Industry 4.0 scenario.** *WIT Transactions on Engineering Sciences*, v. 113, 2016.

WANG, J.; ERKOYUNCU, J.; ROY, R. **A conceptual design for smell based augmented reality: case study in Maintenance diagnosis.** *Procedia CIRP*, v. 78, p.109-114, 2018.

WINDELBAND, L. **Work requirements and qualifications in Maintenance 4.0.** *Proceedings of the Annual Meeting of GfA*, 2016.

YANG, F.-N.; LIN, H.-Y. **Development of a predictive maintenance platform for cyber-physical systems.** In: IEEE ICPS, Taipei, 2019.

ZHANG, Y. *et al.* **A Big Data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance process of complex products.** *Journal of Cleaner Production*, v.142, pp.626-641, 2017.

ZHOU, K.; LIU, T.; ZHOU, L. **Industry 4.0: towards future industrial opportunities and challenges.** In: 12<sup>th</sup> ICNC-FSKD, Zhangjiajie, 2015.