

XXXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO “Os desafios da engenharia de produção para uma gestão inovadora da Logística e Operações” Santos, São Paulo, Brasil, 15 a 18 de outubro de 2019

2019 ABEPRO - Todos os direitos reservados - Os artigos se tornam de uso público desde que resguardado o direito autoral. Quando usado ou reproduzido, a fonte deve ser devidamente mencionada e os autores referenciados. Fonte: <http://www.abepro.org.br/publicacoes/index.asp?pesq=ok&ano=2019&area=&pchave=&autor=Barbalho>. Acesso em: 02 jun. 2020.

REFERÊNCIA

DOCKHORN, Fernando da Silva Mello; BARBALHO, Sanderson César Macêdo. Smart maintenance: uma análise bibliométrica. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO , 39., 2019, Santos. Anais eletrônicos [...]. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2019. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/publicacoes/index.asp?pesq=ok&ano=2019&area=&pchave=&autor=Barbalho>. Acesso em: 2 jun. 2020.

SMART MAINTENANCE: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Fernando da Silva Mello Dockhorn (Universidade de Brasília)

f.dock76@gmail.com

Sanderson César Macêdo Barbalho (Universidad)

scmbbr@yahoo.com.br

Este artigo busca analisar a produção acadêmica internacional relacionada à Manutenção na Indústria 4.0, também conhecida como Smart Maintenance, a fim de compreender o seu comportamento em relação aos período de tempo, autores e periódicos com maior número

Palavras-chave: Análise Bibliométrica, Smart Maintenance, Manutenção 4.0, Indústria 4.0



1. Introdução

A manutenção é de suma importância para a indústria moderna. Segundo Peng, Dong, e Jian Zuo (2010) “A indústria moderna está cada vez mais exigindo que se trabalhe com alta confiabilidade, baixos riscos ambientais e segurança humana enquanto opera seus processos com rendimento máximo”. Grande parte das empresas ainda se utiliza das manutenções corretiva e preventiva. Sendo que a corretiva é a troca de uma peça, componente ou equipamento quando este deixa de funcionar da maneira para a qual foi projetado e a preventiva se caracteriza pela revisão, lubrificação ou substituição periódica para evitar uma parada do equipamento e consequente perda na produção.

Estamos vislumbrando o início da 4ª Revolução Industrial, sendo que as revoluções industriais têm sido identificadas pelo conjunto de inovações e avanços tecnológicos que as caracterizam: a 1ª Revolução é caracterizada pelo tear mecânico e demais equipamentos mecânicos para produção de bens, inicialmente acionados pela força d’água e posteriormente a vapor, no final do século 18; a 2ª Revolução é caracterizada pela linha de produção que evoluiu para a produção em massa, alimentada por energia elétrica, no início do século 20 e a 3ª Revolução é caracterizada pela automação das operações de manufatura, com o uso da eletrônica – Comandos Lógicos Programáveis (CLPs) – e posteriormente com uso da Tecnologia da Informação (IT – *Information Technology*).

A 4ª Revolução Industrial também é conhecida como Indústria 4.0 (*Industrie 4.0* em alemão ou *Industry 4.0* em inglês), Manufatura Avançada (*Advanced Manufacturing* em inglês) e *Smart Manufacturing*, *Smart Factory*, *Smart Industry* ou *Integrated Industry*. Segundo Kagermann, Lukas, e Wahlster (2011) o termo Indústria 4.0 foi apresentado em 2011 na Feira de Hannover (Alemanha), sendo utilizado também pelo governo alemão em 2012 no plano de ação “*High-Tech Strategy 2020* – Kagermann, Wahlster e Helbig (2013).

A Indústria 4.0, como toda revolução industrial, acarreta impactos na forma de produção nas empresas, na economia e na sociedade, possuindo caráter disruptivo, ou seja, cria novos mercados desestabilizando a forma tradicional de realizar negócios. Ela traz consigo desafios e oportunidades, sejam eles científicos, tecnológicos, econômico, social ou político - Zhou, Liu e Zhou (2015).

Segundo Marhaug e Schjøllberg (2016), a *Smart Maintenance* ou *e-Maintenance* ou *Intelligent Predictive Maintenance* (IPdM) pode ser considerada um subconjunto da Indústria 4.0, sendo composta por quatro componentes principais: Sistemas Ciber-Físicos (CPS), Internet das

Coisas (IoT), *Data Mining* (DM) e Internet de Serviços (IoS). Estes autores complementam que “*Data Mining* é o processo de extrair conhecimento de diferentes fontes e grandes quantidades de dados.” E consideram Internet de Serviços (IoS) como o cálculo de dados e informações como um serviço, em oposição ao modelo tradicional de considerá-lo como um produto.”

Diante deste cenário este artigo tem como objetivo analisar a produção acadêmica internacional relativa ao tema manutenção inteligente (*smart maintenance*) a fim de compreender o seu comportamento em relação aos: período de tempo, autores e periódicos com maior número de publicações, além dos artigos mais citados na literatura e ainda a relação entre as palavras chaves mais recorrentes.

O artigo está dividido em cinco seções, iniciado por esta abordagem introdutória. A seção 2 aborda a metodologia usada na pesquisa, a seção 3 apresenta os resultados encontrados e a seção 4 as conclusões e considerações finais e, finalmente, a seção Referências apresenta as bibliografias utilizadas na pesquisa.

2. Material e métodos

A presente pesquisa é caracterizada como descritiva com abordagem quantitativa e aplicação da técnica bibliométrica, com objetivo de medir a influência dos periódicos e pesquisadores, traçando seu perfil e tendências, evidenciando também áreas temáticas.

Os dados utilizados foram coletados na Base de Dados *Scopus*.

O método escolhido para extrair e analisar os artigos é a Análise Sistemática da Rede de Literatura (em inglês *Systematic Literature Network Analysis – SLNA*), utilizado por Strozzi, Colicchia, Creazza, e Noè (2017). Na primeira fase da SLNA é realizada a Revisão Sistemática de Literatura (em inglês: *Systematic Literature Review – SLR*), onde a definição do escopo do estudo é identificada, através dos três passos seguintes; cujo resultado será o conjunto de artigos a serem avaliados:

- a) Escopo da Análise: Denyer e Tranfield (2009) propuseram, como método para formular a pesquisa e delimitar a revisão de literatura, responder questões relacionadas ao Contexto, Intervenção, Mecanismo e Resultado (CIMO – em inglês *Context, Intervention, Mechanism and Outcome*).
- b) Definir as palavras chave, período de tempo, tipo de documento e idioma.
- c) Seleção e avaliação do estudo

Já na segunda fase foram realizadas a visualização e análise das redes bibliográficas. Neste artigo foi utilizado o software VOSviewer, versão 1.6.10 (<http://www.vosviewer.com/>) bem como de planilha de Excel.

2.1. Revisão Sistemática de Literatura (SLR)

O escopo deste artigo é o estudo dos conceitos de *Smart Maintenance*. Somente artigos publicados em inglês foram analisados, inicialmente não foi feita restrição no período de tempo, e as palavras chave utilizadas foram “*Smart Maintenance*”, “*Smarter Maintenance*”, “*Intelligent Maintenance*”, “*Real Time Maintenance*”, “*Ubiquitous Maintenance*”, “*e-Maintenance*” e “*Maintenance 4.0*”.

Salienta-se que a pesquisa com as palavras chave foi truncada, utilizando as citações em que há a correspondência exata das palavras.

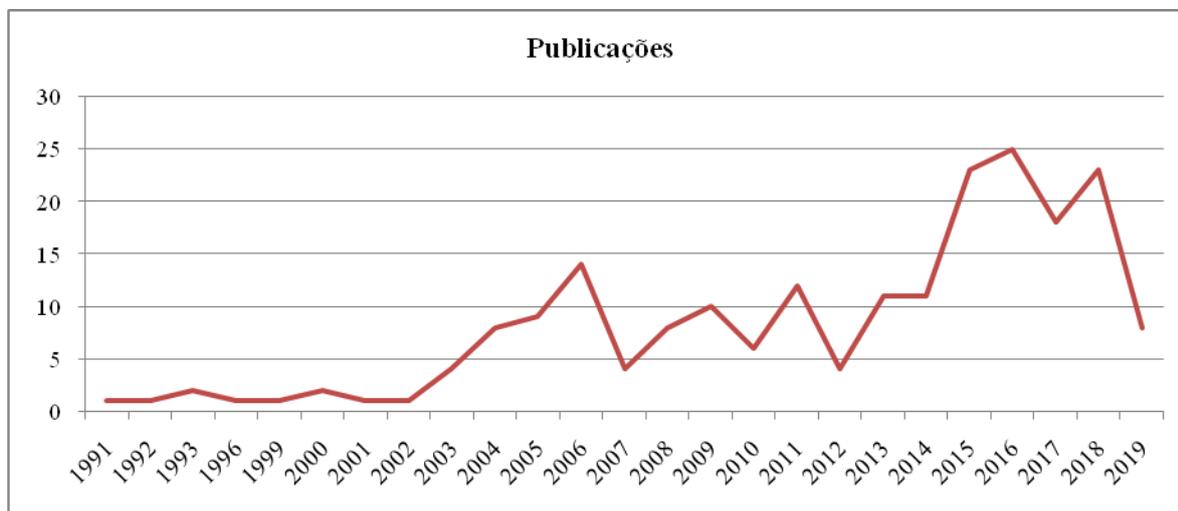
Com essas premissas foi realizada pesquisa na base de dados Scopus tendo como resultado um total de 707 documentos, tendo sido filtrados os artigos publicados em revistas e relacionados à engenharia, restando 208 artigos; destes 12 representam 61,35% das citações.

3. Resultados

3.1. Publicações por ano

Não foram feitas limitações de período de tempo. Assim dentre o universo dos 208 artigos o mais antigo foi publicado em 1991 e os mais recentes em 2019. A Figura 1 mostra a evolução das publicações ao longo dos anos, onde é perceptível o aumento das publicações com esta temática a partir de 2003 e um crescimento acentuado a partir de 2014; em 2016 foi observado o maior número, com 25 publicações; salienta-se que nos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018 o volume de publicações se manteve estável. Como a pesquisa na Base de Dados foi realizada em 09 de maio de 2019 a quantidade publicações relacionadas ao tema e, 2019 até essa data é de oito artigos.

Figura 1: Distribuição das publicações por ano dos 208 artigos



Fonte: Autor

3.2. Distribuição dos artigos por periódico

Os 208 artigos foram publicados em 115 revistas, sendo que 36 revistas tiveram mais de um artigo e 15 tiveram 3 ou mais publicações. Deste modo não se pode considerar que exista uma concentração e sim uma considerável distribuição do tema nas revistas. A Tabela 1 mostra os Periódicos com 2 ou mais publicações, em ordem decrescente da quantidade de publicações.

Tabela 1 - Publicações por periódico

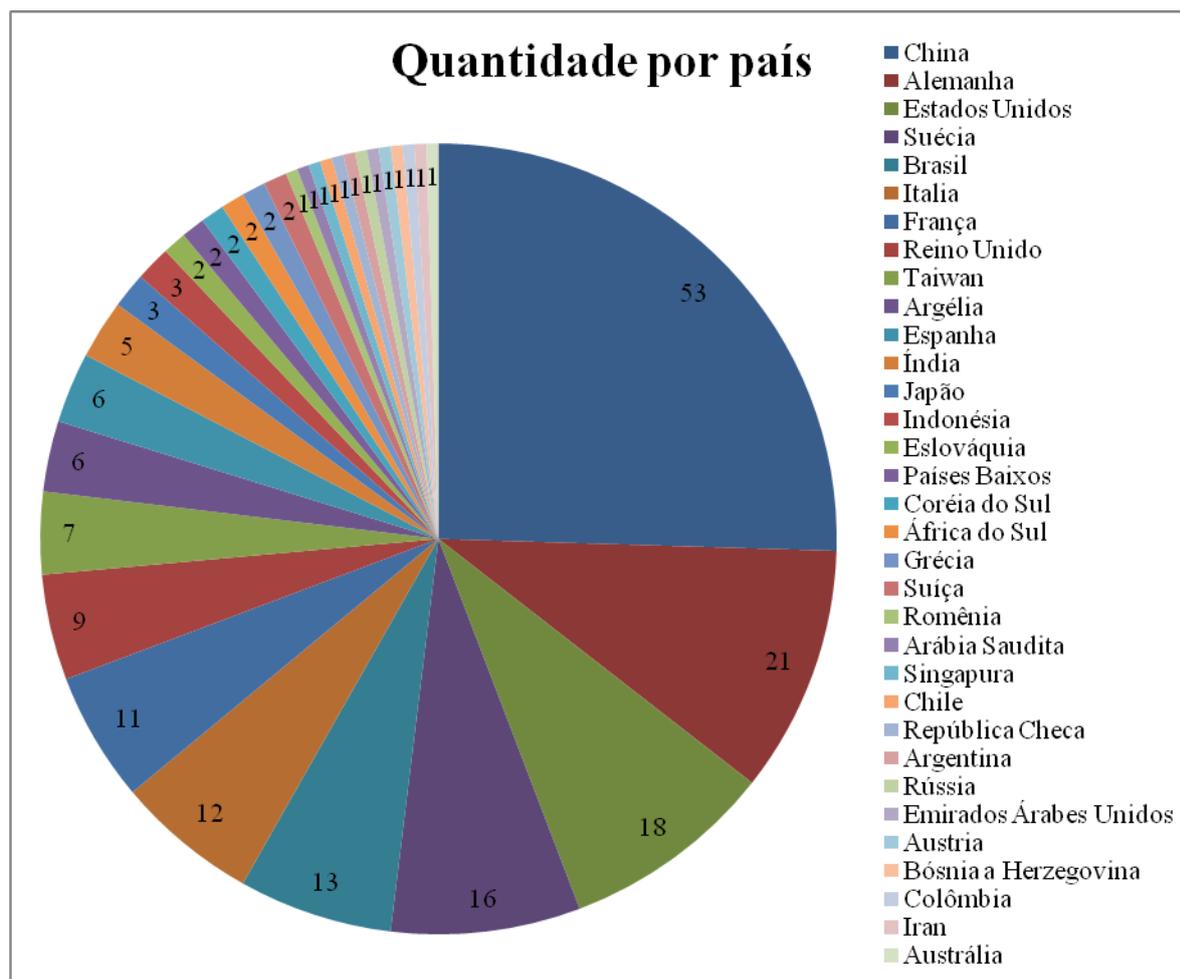
Periódico	Quantidade de publicações
<i>IFAC-PapersOnLine</i>	16
<i>Computers in Industry</i>	11
<i>Journal of Quality in Maintenance Engineering</i>	10
<i>Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong/Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS</i>	7
<i>Zhongguo Jixie Gongcheng/China Mechanical Engineering</i>	7
<i>International Journal of Performability Engineering</i>	6
<i>Lecture Notes in Mechanical Engineering</i>	5
<i>International Journal of Systems Assurance Engineering and Management</i>	4
<i>International Journal of Industrial and Systems Engineering</i>	3
<i>Productivity Management</i>	3
<i>Expert Systems with Applications</i>	3
<i>Journal of Intelligent Manufacturing</i>	3
<i>Journal of Applied Engineering Science</i>	3

Fonte: Autor

3.3 Distribuição das publicações por país

Analisando-se a distribuição das publicações por país, considerando todo intervalo de tempo, percebe-se uma expressiva predominância da China com 53 artigos, o que representa 25,5% das publicações, seguido pela Alemanha, com 21 artigos, equivalente a 10,1%; pelos Estados Unidos com 18 artigos, 8,7%; Suécia com 16 artigos, 7,7%; Brasil com 13 artigos, 6,3%; Itália com 12 artigos, 5,8%; França com 11 artigos, 5,3%; Reino Unido com 9 artigos, 4,3%; Taiwan com 7 artigos, 3,4%; Argélia e Espanha com 6 artigos, 2,9% cada; Índia com 5 artigos, 2,4%; Indonésia e Japão com 3 artigos, 1,4%. E demais países com duas e uma publicações, respectivamente 1,0% e 0,5%. A Figura 3 mostra essa distribuição.

Figura 3: Quantidade de publicações por país



Fonte: Autor

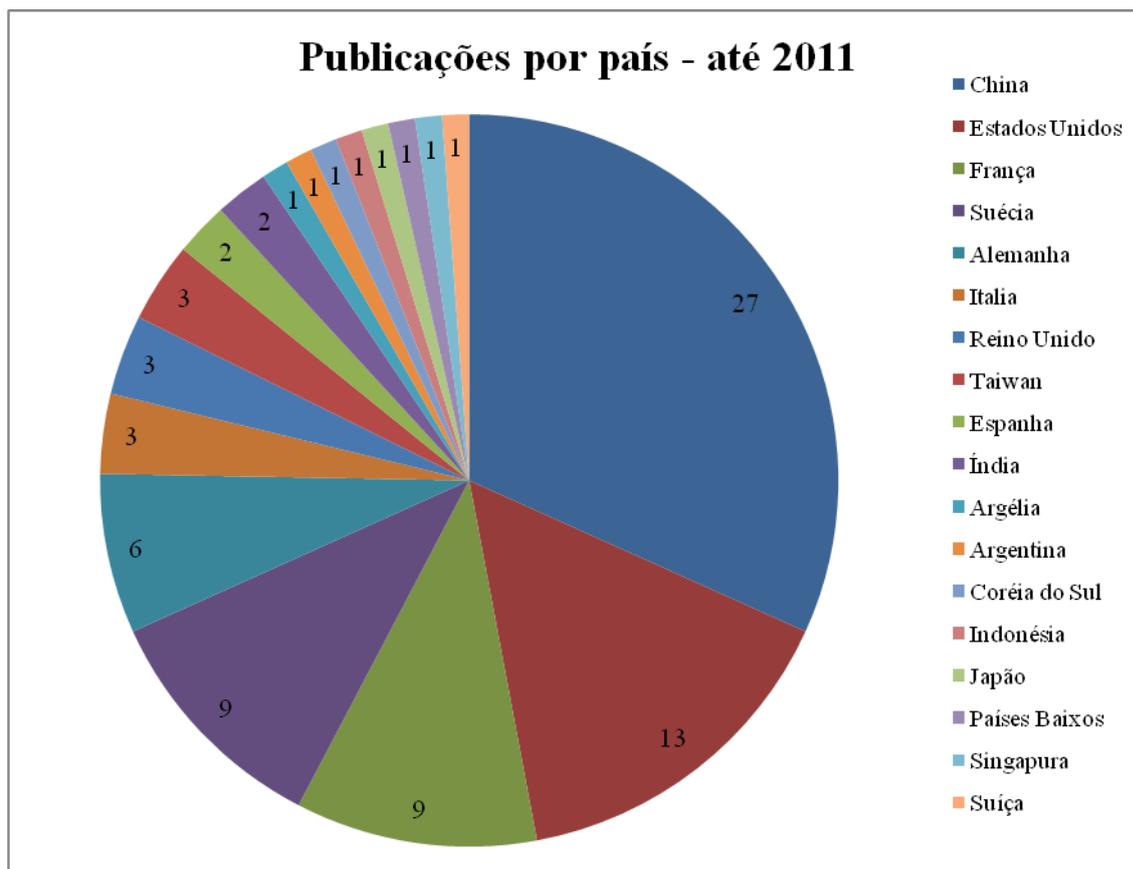
3.3.1. Evolução das publicações por país ao longo do tempo

Conforme citado no item “3.1. Publicações por ano”, os artigos mais citados relativos a este tema foram publicados entre 1991 e 2019. Para uma melhor visualização da evolução do tema ao longo do tempo este período foi dividido em duas partes: a primeira, englobando os artigos publicados até 2011, ano em que o termo Indústria 4.0 apresentado, segundo Kagermann, Lukas, e Wahlster (2011), que contempla 85 artigos; e a segunda parte, com 124 artigos, publicados após 2011.

a) Até o ano de 2011

Na análise da distribuição das publicações por país e neste período de tempo identificou-se uma expressiva predominância da China, com 11 artigos, o que equivale a 31,8%; seguidos pelos Estados Unidos, com 13 artigos, equivalente a 15,3%; e pela França e Suécia, com 9 artigos, equivalendo a 10,6% cada; Itália, Reino Unido e Taiwan, com 3 artigos, equivalendo a 3,5% cada. E demais países com duas e uma publicações, respectivamente 2,4% e 1,2%. Sendo que no total 18 países contribuíram nesse período. A Figura 4 mostra essa distribuição.

Figura 4: Quantidade de publicações por país até 2011

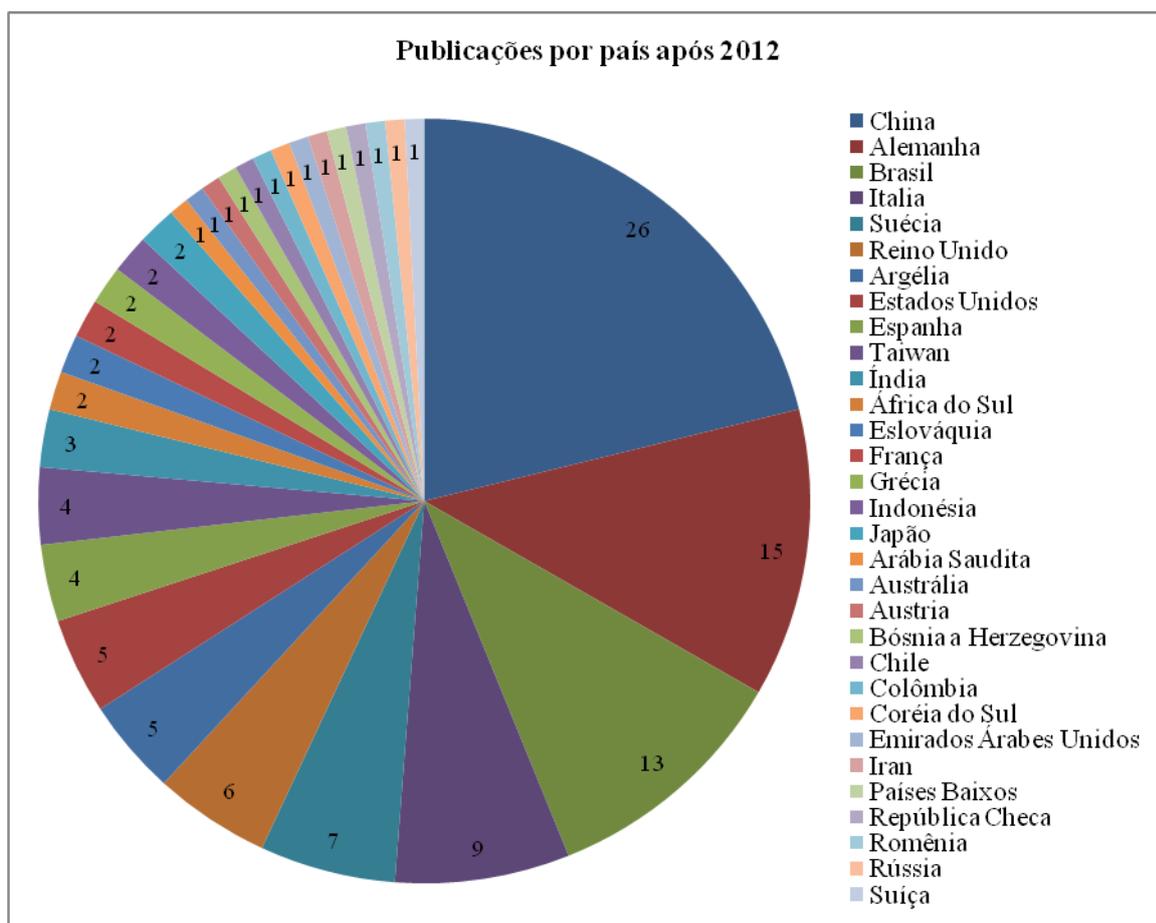


Fonte: Autor

b) Após 2012

Na análise da distribuição das publicações por país e neste 2º período de tempo identificou-se que a quantidade de países que contribuíram foi maior: 31 países ante 18 do primeiro período. Mesmo assim a predominância da China continua, com 26 artigos, o que equivale a 21,1%; seguida pela Alemanha, com 15 artigos, equivalente a 12,2%; pelo Brasil, com 13 artigos, equivalente a 10,6%; pela Itália, com 9 artigos, equivalente a 7,3%; pela Suécia, com 7 artigos, equivalente a 5,7%; pelo Reino Unido com 6 artigos, equivalente a 4,9%; pela Argélia e Estados Unidos, com 5 artigos cada, equivalente e 4,1%; pela Espanha e Taiwan, com 4 artigos cada, equivalente a 3,3%; pela Índia com 3 artigos, equivalente a 2,4. E demais países com duas e uma publicações, respectivamente 1,6% e 0,8%. A Figura 4 mostra essa distribuição.

Figura 4: Quantidade de publicações por país após 2012



Fonte: Autor

A Tabela 2 mostra a distribuição das publicações por país e por ano, representadas graficamente pela Figura 4.

Tabela 2 - Publicações por país e por período de tempo

País	Até 2011	Após 2012
China	27	26
Alemanha	6	15
Brasil		13
Italia	3	9
Suécia	9	7
Reino Unido	3	6
Argélia	1	5
Estados Unidos	13	5
Espanha	2	4
Taiwan	3	4
Índia	2	3
Indonésia	1	2
Japão	1	2
França	9	2
África do Sul		2
Eslováquia		2
Grécia		2

Países Baixos	1	1
Suíça	1	1
Arábia Saudita		1
Austrália		1
Áustria		1
Bósnia a Herzegovina		1
Chile		1
Colômbia		1
Coréia do Sul		1
Emirados Árabes Unidos		1
Iran		1
República Checa		1
Romênia		1
Rússia		1
Argentina	1	
Coréia do Sul	1	
Singapura	1	
Subtotal	85	123

Fonte: Autor

Nota-se uma dispersão nos países que contribuíram com as publicações, tanto em países europeus, fugindo do eixo Alemanha/Reino Unido como também a presença de países africanos, asiáticos e sul americanos.

3.4. Autores com mais publicações

Verificando os autores com maior quantidade de publicações dos 208 artigos tem-se que apenas dois autores possuem quatro publicações, seja como autor individual ou autor principal de artigos: Guo, J. e Lee, J. Somente dois autores possuem três publicações: Liu, C. e Macchi, M.. E 13 autores possuem duas publicações cada: Campos J., Chen X., Emmanouilidis, C., Fasanotti, L., Iung, B., Lin, P.-C., Liu, J., López-Campos, M., März, M., Miebach, T., Muller, A., Seguy, A. e Zuccolotto, M., Os demais 168 artigos possuem autores diferentes. Deste modo não se pode considerar que exista uma concentração e sim uma considerável distribuição do tema dentre os diversos autores.

3.5. Artigos mais citados

Os 208 artigos listados na pesquisa da Base de Dados Scopus foram citados 2.466 vezes e os dez mais citados 1.429 vezes, o que equivale a 57,9%. No Quadro 1 estão listados os 10 artigos mais citados.

Quadro 1 - Lista dos 10 artigos mais citados

Item	Periódico	Ano	Citações
1	<i>Intelligent prognostics tools and e-maintenance</i>	2006	355
2	<i>On the concept of e-maintenance: Review and current research</i>	2008	307
3	<i>Formalisation of a new prognosis model for supporting proactive maintenance implementation on industrial system</i>	2008	158
4	<i>An intelligent maintenance system for continuous cost-based prioritisation of maintenance activities</i>	2006	102
5	<i>Development of an e-maintenance system integrating advanced techniques</i>	2006	100
6	<i>Conceptual framework for e-Maintenance: Illustration by e-Maintenance technologies and platforms</i>	2009	97
7	<i>E-maintenance: Review and conceptual framework</i>	2008	92
8	<i>PROTEUS-Creating distributed maintenance systems through an integration platform</i>	2006	86
9	<i>Using SVM based method for equipment fault detection in a thermal power plant</i>	2011	66
10	<i>The maintenance management framework: A practical view to maintenance management</i>	2009	66

Fonte: Autor

Identificou-se que o artigo mais citado “*Intelligent prognostics tools and e-maintenance*” foi escrito por Lee, J., que é o autor com maior número de artigos citados. E os artigos “*On the concept of e-maintenance: Review and current research*” e “*Formalisation of a new prognosis model for supporting proactive maintenance implementation on industrial system*” foram escritos por Muller, A., autor com duas publicações entre as mais citadas.

3.6. Redes de palavras chave

A avaliação das palavras chave dos artigos foi feita utilizando o software VOSviewer com 5 ou mais ocorrências, nos campos título e resumo. O software identificou 66 palavras agrupando-as em quatro grupos. A Tabela 3 mostra estas 31 palavras mais referenciadas, bem como as suas ocorrências; e a seguir a Figura 5 mostra a Rede de Palavras Chave, onde se podem observar os seus relacionamentos, bem como a sua variação ao longo do tempo. Segundo Van Eck e Waltman (2010) a importância de um item é demonstrada pelo tamanho do seu círculo representativo bem como pelo tamanho da suas letras; já a relação entre as palavras é identificada na medida em que são mais próximas umas das outras.

Tabela 3: Quantidade de Ocorrências por palavra chave

Palavra chave	Ocorrência
<i>maintenance</i>	101
<i>e-maintenance</i>	55
<i>intelligent maintenance</i>	38
<i>decision making</i>	27
<i>condition monitoring</i>	27
<i>intelligent maintenance systems</i>	24

Fonte: Autor

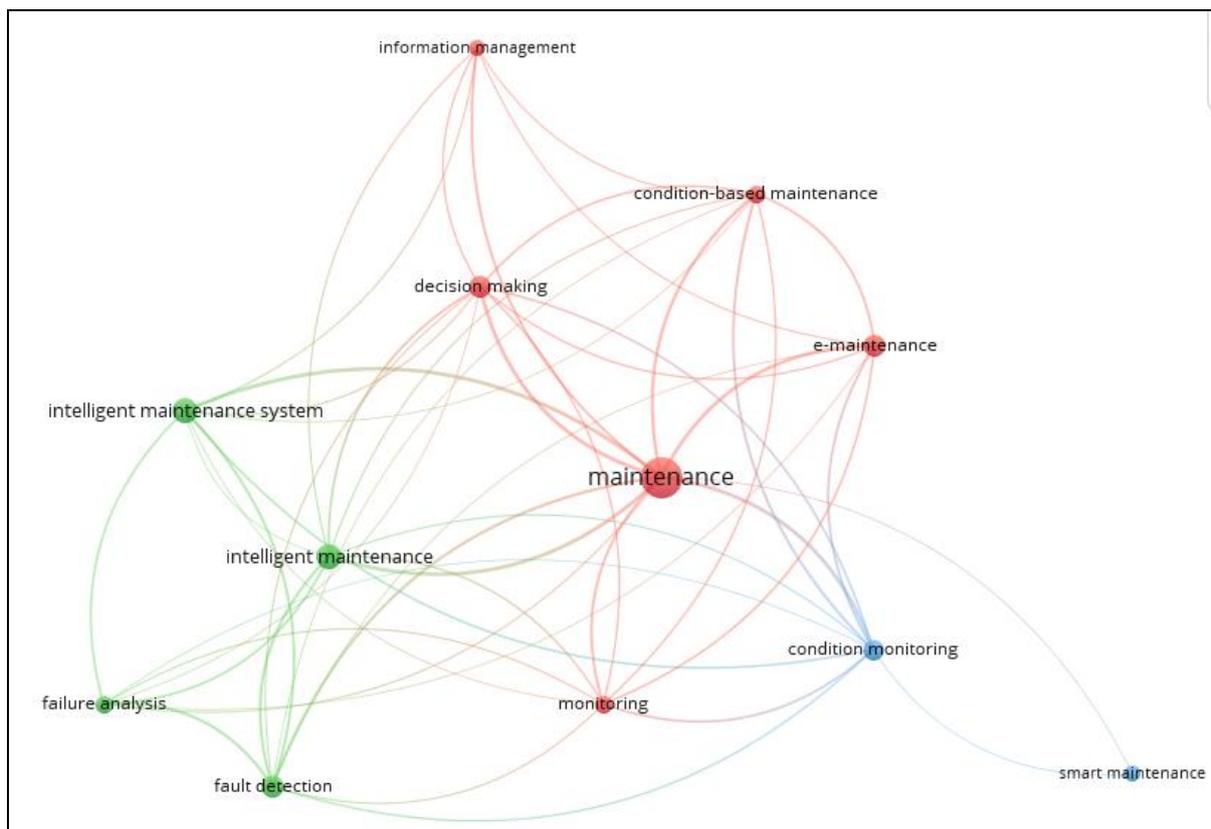
3.6.1. Evolução das palavras chave ao longo do tempo

Conforme mencionado no item “3.1. Publicações por ano”, os artigos relativos a este tema foram publicados entre 1991 e 2019. Para uma melhor visualização da evolução das palavras chave do tema ao longo do tempo este período foi dividido em duas partes, conforme mencionado no item “3.3.1. Evolução das publicações por país ao longo do tempo”. Sendo que todas as análises também foram feitas utilizando o VOSviewer, também com a mesma sistemática de avaliação.

a) Até o ano de 2011

Na avaliação das palavras chave destes 85 artigos o software identificou 12 palavras chave, também seguindo o critério de no mínimo oito ocorrências por palavra chave. A Tabela 5 mostra a Evolução das palavras chave ao longo do tempo, bem como as suas ocorrências; e a Figura 6 mostra a Rede de Palavras Chave, onde se podem observar os seus relacionamentos.

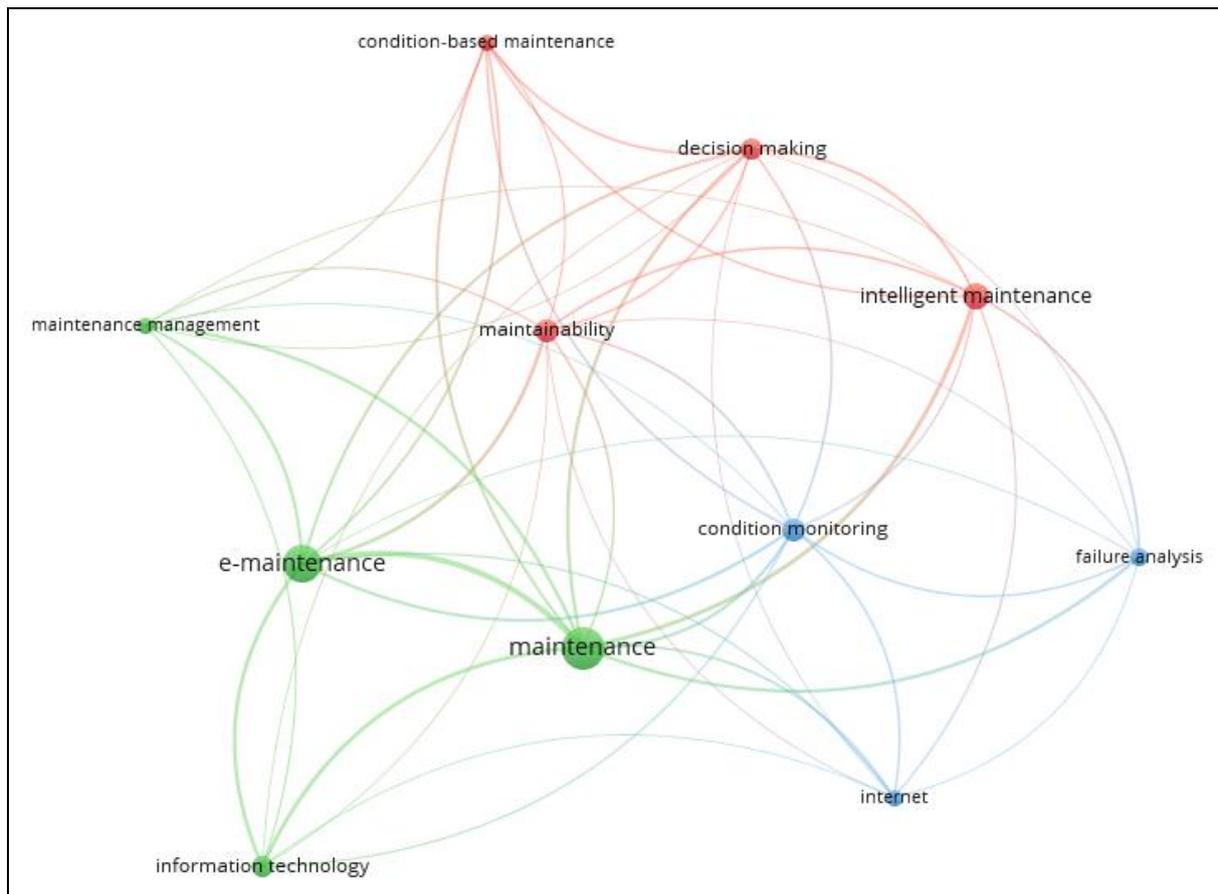
Figura 6: Rede das Palavras Chave até o ano de 2011



Fonte: Autor

b) Após 2012

Na avaliação das palavras chave destes 123 artigos o software identificou 11 palavras chave. A Tabela 5 mostra a Evolução das palavras chave ao longo do tempo, bem como as suas ocorrências; e a Figura 7 mostra a Rede de Palavras Chave, onde se podem observar os seus relacionamentos.



Fonte: Autor

4. Discussões

Comparando a variação das palavras chave dos dois períodos pode-se acompanhar a evolução dos assuntos relacionados com o tema principal. Nos anos anteriores ao ano 2012 já havia discussões relativas ao monitoramento em tempo real, com análise das falhas através de modelos matemáticos e redes neurais, conforme descrito por Paya, Esat e Badi (1997), bem como pode se identificar o surgimento das palavras chave alinhadas com o surgimento da Indústria 4.0, tais como: sensores, monitoramento de condições, prognósticos, degradação, simulações por computador, tomada de decisões, manutenção preditiva, sistemas inteligentes, otimização, inteligência artificial e algoritmos; segundo o exposto por Lee, Ni, Djurdjanović, Qiu e Liao (2006) e Muller, Crespo Marquez, e Iung (2008).

Já após 2012 com uma quantidade de artigos maior, 213, nota-se sendo as palavras chave que surgiram na lista são “*intelligent maintenance*”, “*maintainability*”, “*information technology*”, “*maintenance management*” e “*internet*”. Considerando uma quantidade menor de

ocorrências comuns a quantidade de palavras aumenta, também acompanhando as palavras chaves relacionadas à Indústria 4.0, refletindo uma evolução do tema.

A Tabela 4 mostra a evolução das palavras chave nos dois períodos de tempo descritos anteriormente.

Tabela 4: Evolução das palavras chave ao longo do tempo

Palavra chave	Até o ano 2011	Após 2012
<i>maintenance</i>	47	50
<i>e-maintenance</i>	15	40
<i>intelligent maintenance</i>		19
<i>maintainability</i>		15
<i>decision making</i>	15	14
<i>condition monitoring</i>	13	14
<i>information technology</i>		13
<i>failure analysis</i>	9	10
<i>condition-based maintenance</i>	9	8
<i>maintenance management</i>		8
<i>internet</i>		8
<i>intelligent maintenance</i>	19	
<i>intelligent maintenance systems</i>	18	
<i>fault detection</i>	14	
<i>monitoring</i>	9	
<i>information management</i>	8	
<i>smart maintenance</i>	8	
<i>maintenance</i>	47	50

5. Conclusão

A manutenção industrial não é um tema recente, surgiu junto com a própria indústria e evoluiu com ela. Deste modo as novas tecnologias que têm embasado a 4ª Revolução Industrial, que possui um enfoque maior na área de manufatura, também se estendem para a área de manutenção, com objetivo de evoluir de manutenção corretiva e preventiva para uma preditiva. Segundo Lee, Ni, Djurdjanović, Qiu e Liao, (2006) “a manutenção eletrônica atende às necessidades fundamentais das ferramentas de inteligência preditiva para monitorar a degradação em vez de detectar as falhas em um ambiente de rede e, por fim, aprimorando a utilização de ativos na instalação”. Ou seja, haverá uma alteração das manutenções corretiva e preventiva, que são as mais utilizadas na maioria das empresas para uma manutenção preditiva e proativa. Civerchia, Bocchino, Salvadori, Rossi, Maggiani, e Petracca, (2017) destacam que a sensorização acarreta na redução das falhas nos equipamentos por meio da capacidade rápida na detecção de eventos, complementando que “considerando os dispositivos de IoT capazes de se comunicar e interoperar entre eles, possíveis atrasos devido

a interações humanas no ciclo podem ser evitados, e uma reação rápida a eventos críticos pode ser alcançada.”

Todos os dez artigos mais citados foram publicados no período anterior ao ano 2011: “*Intelligent prognostics tools and e-maintenance*”, com 355 citações, foi publicado em 2006 e “*On the concept of e-maintenance: Review and current research*”, com 307 citações foi publicado em 2008 e os demais entre 2006 e 2011. Demonstrando a consolidação da base do conhecimento científico.

Sua amplitude pode ser verificada pela considerável distribuição das publicações nos periódicos científicos.

A análise das publicações por países ao longo do tempo mostra uma disseminação da distribuição do tema pelos diversos países, não só nos que estão em um estágio maior de desenvolvimento tecnológico, tais como Estados Unidos e países Europeus. Nota-se que ainda existe uma forte predominância dos China, com uma crescente participação da Alemanha.

As Redes de Palavras Chave foram geradas através da maior recorrência a partir dos títulos e resumos dos artigos revisados mostra a abrangência do assunto.

Este artigo representa uma primeira investida com objetivo de sistematizar o conhecimento científico relacionado à Manutenção 4.0 ou *Smart Maintenance*. Como este assunto está se ampliando, como pode ser identificado pela quantidade de publicações ao longo dos anos, se fazem necessárias investigações aprofundadas nos diversos conteúdos e sub áreas que a compõe.

A pesquisa foi realizada somente em uma base de dados, a Scopus, o que limita a abrangência. Assim sugere que estudos futuros verifiquem outras bases de dados, de modo a aumentar a abrangência da pesquisa sobre o assunto. Também é importante uma análise mais detalhada dos artigos relacionados ao tema, para que seja possível um entendimento melhor deste.

REFERÊNCIAS

CIVERCHIA, Federico, BOCCHINO, Stefano, SALVADORI, Claudio, ROSSI, Enrico, MAGGIANI, Lucca, PETRACCA, Matteo. **Industrial Internet of Things monitoring solution for advanced predictive maintenance applications**, Journal of Industrial Information Integration 7 (2017) 4–12.

DENYER, David, e TRANFIELD, David. **Producing a Systematic Review**. In The Sage Handbook of Organizational Research Methods, edited by D. Buchanan, and A. Bryman, 671–689. London: Sage Publications. 2009.

GARCIA Mari Cruz, SANZ-BOBI Miguel A., DEL PICO Javier,. **SIMAP: Intelligent System for Predictive Maintenance. Application to the health condition monitoring of a windturbine gearbox**. Computers in Industry. Volume 57, Issue 6, August 2006, Pages 552-568.

GEBRAEEL, Nagi Z., LAWLEY Mark Alan, LI, Rong, RYAN, Jennifer K. **Residual-life distributions from component degradation signals: A Bayesian approach**. IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers). Volume 37, Issue 6, June 2005, Pages 543-557.

HALEVI, Yoram, RAY, Asok. **Integrated communication and control systems: Part I-Analysis**. Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Transactions of the ASME. Volume 110, Issue 4, December 1988, Pages 367-373.

LEE, Jay, NI, Jun, DJURDJANOVIĆ, Dragan, QIU, Hai, LIAO, Haitao. **Intelligent prognostics tools and e-maintenance**. Computers in Industry - Volume 57, Issue 6, August 2006, Pages 476-489.

MULLER, Alexandre, CRESPO MARQUEZ, A., IUNG, Benoît. **On the concept of e-maintenance: Review and current research**. Reliability Engineering and System Safety - Volume 93, Issue 8, August 2008, Pages 1165-1187.

MULLER Alexandre, SUHNER Marie Christine, IUNG Benoît., **Formalisation of a new prognosis model for supporting proactive maintenance implementation on industrial system**. Reliability Engineering and System Safety. Volume 93, Issue 2, February 2008, Pages 234-253.

KAGERMANN, Henning, LUKAS, Wolf-Dieter e WAHLSTER, Wolfgang, 2011: **Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution**. VDI nachrichten, 13.

KAGERMANN, Henning, WAHLSTER, Wolfgang, e HELBIG, Johannes. 2013. **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0**. Berlin: Industrie 4.0 Working Group of Acatech.

PAYA, Basir A., ESAT, Ibrahim Ilhan e BADI, M.N.M. **Artificial neural network based fault diagnostics of rotating machinery using wavelet transforms as a preprocessor** (1997). Mechanical Systems and Signal Processing. Volume 11, Issue 5, September 1997, Pages 751-765.

PENG, Ying, DONG, Ming e JIAN ZUO, Ming. **Current status of machine prognostics in condition-based maintenance: a review**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2010) 50:297–313.

STROZZI, Fernanda, COLICCHIA, Claudia, CREAZZA, Alessandro e NOÈ, Carlo. **Literature review on the ‘Smart Factory’ concept using bibliometric tools.** International Journal of Production Research (2017).

VAN ECK, Ness Jan, WALTMAN, Ludo. **Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping.** Scientometrics, v. 84, p. 523-538, (2010).

XU Xun W., NEWMAN Stephen T., **Making CNC machine tools more open, interoperable and intelligent - A review of the technologies.** Computers in Industry. Volume 57, Issue 2, February 2006, Pages 141-152.

YAM Richard Ching Man., TSE Peter W., LI L., TU Paul Yiliu L., **Intelligent predictive decision support system for condition-based maintenance.** International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Volume 17, Issue 5, 2001, Pages 383-391.

ZHANG, Yingfeng, REN, Shan, LIU, Yang e SI, Shubin. **A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products.** Journal of Cleaner Production. Volume 142, 20 January 2017, Pages 626-641.

ZHOU, Keliang, LIU, Taigang e ZHOU, Liffeng. **Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges.** 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD).

WANG, Lihui. **Machine availability monitoring and machining process planning towards Cloud manufacturing.** CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology Volume 6, Issue 4, 2013, Pages 263-273.