

**Tecnologia, inovação e sustentabilidade:
50 anos de Cursos de Tecnologia no Brasil.**

Levantamento de temas emergentes sobre a comunicação sem fio para a Indústria 4.0

Diogo Pedriali¹ e Carlos Hideo Arima²

Resumo - O objetivo deste artigo foi identificar a produção científica internacional sobre a tecnologia de comunicação sem fio aplicada a Indústria 4.0 em três bases de dados, a *IEEE*, a *WoS* e a *ACM*, entre os anos 2015 e 2019, identificando os principais artigos e os temas emergentes. Trata-se de uma pesquisa do tipo exploratória e descritiva que se utilizou de bibliometria. Foram identificados 147 trabalhos publicados nos últimos cinco anos. Os temas emergentes sinalizam a oportunidade de estudos sobre o desenvolvimento de algoritmos que auxiliem a redução de requisitos computacionais de controladores centrais; a prevenção de incidentes de segurança em redes sem fio; sobre sistemas ciberfísicos seguros, e sobre a coexistência de dispositivos *wireless* industriais.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Comunicação Sem Fio, Estudo Bibliométrico, Temas Emergentes.

Abstract - The objective of this article was to identify the international scientific literature about wireless communication technology applied to Industry 4.0 in three databases, IEEE, WoS and ACM, between 2015 and 2019, identifying the main articles and emerging themes. This is an exploratory and descriptive research that uses bibliometrics. 147 scientific articles were identified in the last five years. The emerging themes indicate the opportunity for studies on the development of algorithms that help reduce the computational requirements of central controllers; prevention of security incidents in wireless networks; about secure cyberphysical systems, and the coexistence of industrial wireless devices.

Keywords: Industry 4.0, Wireless Communication, Bibliometric Study, Emerging Themes.

¹ Centro Estadual de educação Tecnológica Paula Souza - diogo.pedriali@cpspos.sp.gov.br

² Centro Estadual de educação Tecnológica Paula Souza – charima@uol.com.br

1. Introdução

A comunicação sem fio atrai a atenção de pesquisadores e de profissionais técnicos, devida possibilidade de que a conectividade sem fio proporcione grande flexibilidade para as empresas, além de conectar diferentes tipos de componentes em uma mesma rede e facilitando a efetiva comunicação entre diversos dispositivos industriais (SANTOS; VOLANTE, 2018).

Dessa forma, é importante avaliar as tendências de estudo sobre Indústria 4.0, no viés da comunicação sem fio das aplicações industriais, de modo a investigar as características das atuais publicações científicas sobre o assunto.

Procurando compreender qual o estado da discussão na academia internacional e quais os temas emergentes sobre a comunicação sem fio de dispositivos para a Indústria 4.0 nos artigos mais relevantes, surgem duas questões de pesquisa. A primeira, o que se publica atualmente sobre a comunicação sem fio para a Indústria 4.0? e a segunda, quais os temas emergentes sobre o assunto nos artigos da área de engenharia?

O objetivo da pesquisa é mapear a produção científica internacional sobre a comunicação sem fio aplicável à Indústria 4.0 em três das principais bases de dados científicos sobre o tema, a *Institute of Electrical and Electronic Engineers Xplore Digital Library* (IEEE), a *Web of Science* (WoS) e a *Association for Computing Machinery Digital Library* (ACM), com recorte temporal entre 2015 a 2019.

A escolha das bases de dados IEEE, WoS e ACM para a pesquisa se justifica pela abrangência de cobertura de áreas do conhecimento científico. Além disso, as bases escolhidas possibilitam integração a ferramentas computacionais que auxiliam na recuperação dos dados de interesse da pesquisa viabilizando as análises planejadas para este estudo.

Por meio da coleta bibliométrica foi realizado o levantamento da distribuição das publicações por ano, a identificação dos autores com maior número de publicações, a identificação dos periódicos com mais artigos publicados sobre a temática, a identificação dos dez artigos mais relevantes e o levantamento dos temas emergentes por meio das sugestões de trabalhos futuros apresentados pelos autores dos artigos selecionados.

A pesquisa se justifica por lançar luz sobre novos temas acerca da comunicação sem fio para aplicações da Indústria 4.0 evitando-se uma abordagem minimalista e estreita do assunto.

O artigo contém, além da introdução, o referencial teórico que sustenta este trabalho, este sendo apresentado na próxima seção; o método utilizado para o desenvolvimento do estudo, está contido na terceira seção; na quarta seção são apresentados os resultados evidenciados e as discussões pertinentes ao material coletado; as considerações finais, bem como a identificação de limitações e oportunidades de estudos futuros são apresentadas na quinta seção deste trabalho.

2. Referencial Teórico

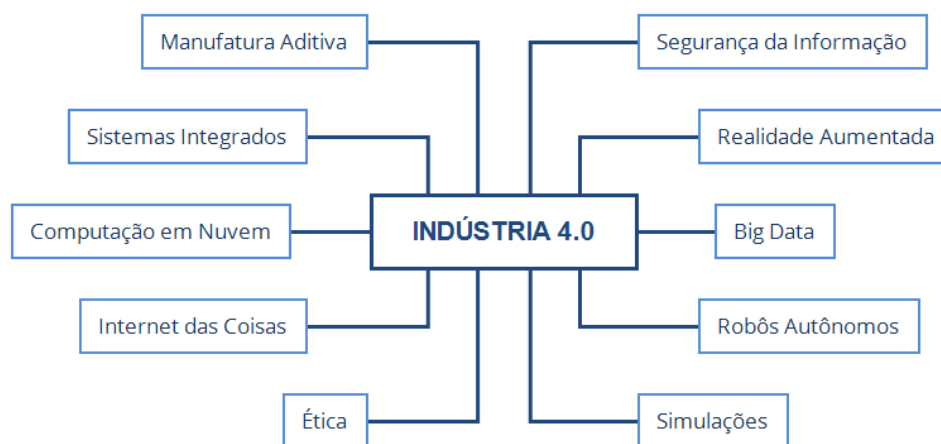
A quarta revolução industrial, também chamada de Indústria 4.0 ou *Industrie 4.0*, trata-se de uma abordagem estratégica para a integração de sistemas de controle avançados com tecnologia de *internet*, que permite a comunicação entre as pessoas, produtos e sistemas complexos (ANDERL, 2015).

Os fundamentos básicos da Indústria 4.0 implicam que através da conexão de máquinas, sistemas e recursos, as organizações podem criar redes inteligentes ao longo da cadeia de valor controlando os processos de produção de forma autônoma (SANTOS *et al.*, 2017).

Brettel *et al.* (2014) citam que a Indústria 4.0 comporta a comunicação entre os seres humanos, bem como com as máquinas em um sistema denominado ciberfísico (CPS) o que pode resultar o surgimento de grandes redes.

As principais tecnologias que sustentam a Indústria 4.0 são: *Internet das Coisas* (IoT), *Big Data*, Realidade móvel e aumentada, Manufatura aditiva, Computação em Nuvem e Segurança Cibernética (SANTOS *et al.*, 2017). A Figura 1, representa os atuais conceitos tecnológicos da Indústria 4.0.

Figura 1 - Conceitos tecnológicos da Indústria 4.0.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Desde a década de 1970, a tecnologia da informação foi incorporada aos negócios. Os *desktops*, o uso de tecnologias de informação (TI) em escritórios e a automação assistida por computador revolucionaram o setor. Para a Indústria 4.0, não é o computador que é a tecnologia principal, mas sim a *internet*. A produção digital está ganhando um novo nível de qualidade com a rede global entre fronteiras corporativas e nacionais: a *internet das coisas* (IoT), a comunicação máquina a máquina (M2M) e as instalações de plantas fabris cada vez mais inteligentes anunciam uma nova era (MINISTRY FOR ECONOMIC AFFAIRS AND ENERGY; MINISTRY OF EDUCATION AND RESEARCH, 2019).

Entre os métodos de comunicação utilizados, vale ressaltar especial interesse no estudo das comunicações sem fio dos dispositivos industriais, tais como sensores, atuadores e controladores.

Diversos são os tipos de comunicação utilizados nos sistemas ciberfísicos da Indústria 4.0, como por exemplo *Device to Device* (D2D) e *Machine to Machine* (M2M), que podem ser conectados por meios físicos (cabos) ou eletromagnético (*wireless*). Devido à grande diversidade de possibilidades de conexão para transmissão de dados utilizados na Indústria 4.0, também há grande variação de protocolos de comunicação, arquitetura de redes e tecnologias de rede.

Chen, Wan e Li (2012) discutem e agrupam, em seu trabalho, os principais tipos de tecnologia de comunicação utilizadas em sistemas M2M. São citados como redes de área pessoal, a IEEE 802.15, banda ultra larga (UWB), Zigbee e Bluetooth; redes locais, como comunicação por linha de energia (PLC), Wi-Fi, Femtocell e

Wireless M-BUS. Os exemplos de redes de comunicação entre *gateways* M2M, incluem, mas não estão limitados a xDSL, WLAN, satélite, GSM, GPRS, CDMA2000 e interoperabilidade mundial para acesso por micro-ondas (WiMAX).

Os autores Kunst *et al.* (2019), propõem como projeto de arquitetura, representado na Figura 2, do sistema de comunicação sem fio para um sistema ciberfísico com 5 camadas de rede de comunicação, incluindo um gerenciador e controlador de alocação de recursos da rede, considerando tanto a qualidade do serviço (QoS) quanto o custo relacionado ao acesso à rede.

Figura 2 - Arquitetura de comunicação sem fio para sistemas ciberfísicos.



Fonte: Adaptado de Kunst *et al.* (2019).

3. Método

O método utilizado neste estudo pode ser classificado, de acordo com o trabalho de Prodanov e Freitas (2013), quanto à natureza como pesquisa básica, quanto ao objetivo pode-se caracterizar como pesquisa exploratória e descritiva e quanto ao procedimento científico, caracteriza-se como pesquisa bibliométrica.

A bibliometria é uma ferramenta quantitativa que visa minimizar a subjetividade inerente à indexação e recuperação de informações, produzindo conhecimento em uma determinada área (GUEDES; BORSCHIVER, 2005) e como método científico busca documentar os padrões de publicações dos autores,

considerando as referências que citam em seus trabalhos e as em que são citados (HEBERGER; CHRISTIE; ALKIN, 2010).

Na utilização da bibliometria como método científico, respeitou-se as principais leis da bibliometria que são: a Lei de Bradford, que analisa a produtividade de periódicos, a Lei de Lotka, que analisa a produtividade científica de autores, e a Lei de Zipf que verifica a frequência de palavras. Estas leis foram utilizadas para a seleção dos dados quantitativos que foram utilizados para a constituição do agrupamento de dados para a criação das figuras e tabelas deste trabalho.

Neste estudo, a recuperação dos dados foi realizada nas coleções principais das bases IEEE, WoS e ACM. Estas bases de dados têm abrangência internacional e contém informações bibliográficas e citações de aproximadamente 95 milhões de textos científicos, além disso, oferecem registros bibliográficos padronizados, o que possibilita que os dados sejam trabalhados em *softwares* que auxiliam a contagem, padronização e organização dos dados.

Foi realizado o recorte temporal de cinco anos, pois nota-se como o período de maior disseminação de informações e de publicação de pesquisas sobre a Indústria 4.0, conforme levantamento previamente realizado nas bases de dados escolhidas. Devido a este volume de informações disseminadas se faz necessário identificar os temas emergentes sobre o assunto, adicionando a identificação da importância da comunicação sem fio para a quarta revolução industrial.

Nesse sentido, foram definidos os descritores “*Industry 4.0*” e “*wireless*”, pois melhor caracterizam o foco deste estudo. Para ampliar a possibilidade de localização de artigos nas bases de dados escolhidas, foi necessário adicionar as variações dos termos de pesquisa, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Termos de busca e filtros aplicados nas bases de dados.

Strings de busca	Filtros aplicados	Base	Quantidade de artigos
("Industry 4.0" OR "industry 4.0" OR "Industrie 4.0" OR "industrie 4.0" OR "Industry4.0" OR "industry4.0" OR "Industrie4.0" OR "industrie4.0" AND "wireless")	Artigos em Inglês publicados entre 2015 a 2019	IEEE	11
		WoS	6
		ACM	130

Fonte: Elaborado pelos autores.

A coleta dos dados foi realizada em julho de 2019. Utilizou-se ainda os filtros disponíveis nas máquinas de pesquisa *online* das bases de dados da IEEE, WoS e ACM, utilizando em cada uma, sua coleção principal para o refinamento da pesquisa, na seguinte sequência: refinamento por tipo de documento: foi selecionada a opção article; refinamento pelo idioma: foi selecionado o idioma inglês; e, inicialmente não houve refinamento pelas áreas do conhecimento disponíveis nas máquinas de busca.

Desta forma foram identificados os trabalhos publicados nos últimos cinco anos que compõem o *corpus* da análise bibliométrica.

Em seguida, exportou-se os dados dos resultados obtidos para serem tratados no programa de análise bibliométrica e fichamento EndNote.

Além dos dados gerados com auxílio das ferramentas disponíveis no programa EndNote, foram analisados aspectos qualitativos dos textos dos dez

artigos selecionados como mais relevantes, no intuito de identificar suas principais contribuições para a temática da Indústria 4.0 e a comunicação sem fio.

Os resultados das análises e a discussão dos resultados estão apresentados na próxima seção.

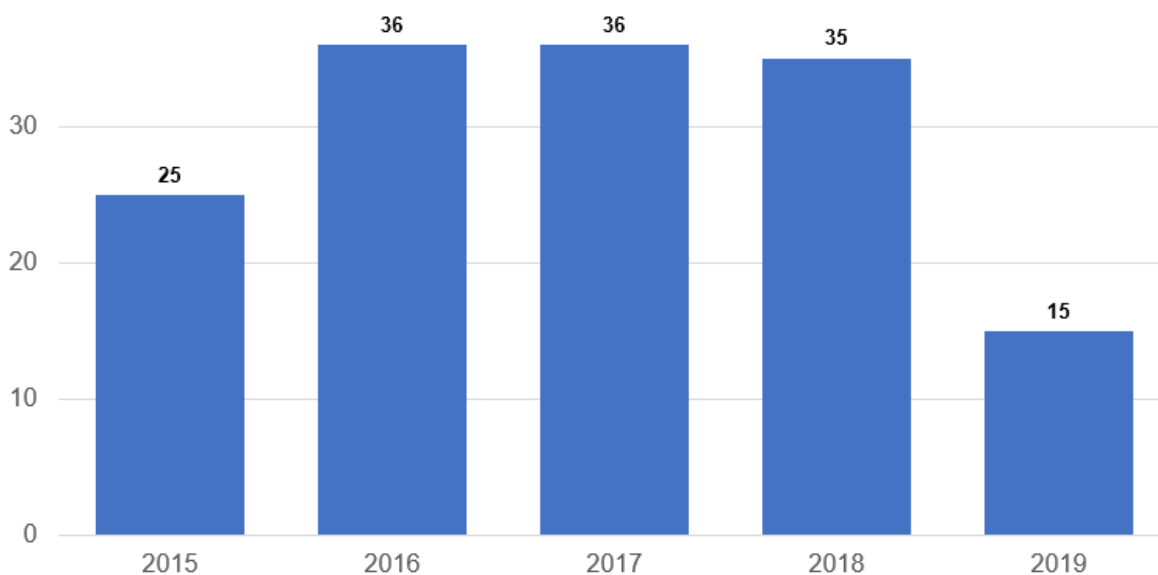
4. Resultados e Discussão

Após o levantamento dos dados bibliométricos nas principais coleções das bases de dados IEEE, WoS e ACM com os termos indicados na seção anterior, foram identificados 147 artigos contendo os termos da pesquisa em seus títulos. Estes artigos estão publicados em 28 periódicos indexados nas bases de dados escolhidas e foram escritos por 567 autores, considerando a somatória dos autores principais e co-autores.

A evolução anual das publicações sobre o tema é apresentada na Figura 3. Observa-se que no período de 2015 a 2018, em média, 33 artigos foram publicados por ano.

Vale ressaltar que referente ao ano de 2019, os dados levantados contemplam os meses de janeiro a julho e para o cálculo da média de produção anual estes não foram considerados.

Figura 3 - Quantidade de publicações distribuídas por ano.



Fonte: Resultado da pesquisa.

O periódico internacional com maior quantidade de artigos que abordam a temática deste estudo é o *ACM Transactions on Sensor Networks* com 58 (39,5%) artigos publicados. Este periódico tem classificação *h-index* 54, e identifica-se como importante para o desenvolvimento deste estudo.

Salienta-se também a importância do periódico *ACM Computing Surveys* que possui *h-index* 132, e mesmo possuindo 11 (7,5%) artigos publicados abordando o tema, posiciona-se como periódico de grande importância científica, devido sua circulação, conforme apresentado na Tabela 2.

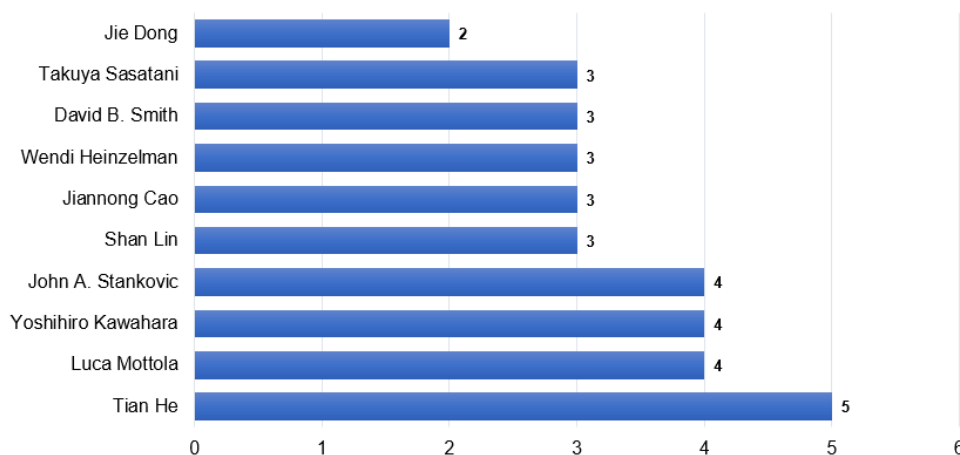
Tabela 2 - Periódicos com mais artigos publicados sobre o tema.

Título do Periódico	<i>h-index</i>	Quantidade de artigos	%
<i>ACM Transactions on Sensor Networks</i>	54	58	39,5
<i>ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology</i>	33	14	9,5
<i>ACM Transactions on Embedded Computing Systems</i>	26	13	8,8
<i>ACM Computing Surveys</i>	132	11	7,5
<i>ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies</i>	*	8	5,4
<i>IEEE Access</i>	56	7	4,8
<i>ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems</i>	34	4	2,7
<i>ACM Transactions on Cyber-Physical Systems</i>	*	4	2,7
<i>ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications</i>	32	4	2,7
<i>ACM Journal on Emerging Technologies in Computing Systems</i>	31	3	2,0

* periódico sem avaliação no período do estudo.

Fonte: Resultado da pesquisa.

Após a identificação dos periódicos, foram identificados os autores que possuem a maior quantidade de artigos publicados sobre temas correlacionados ao tema deste artigo, nesse sentido se destacam: Tian He com 5 publicações, e Luca Mottola, Yoshihiro Kawahara e John A. Stankovic, cada um deles com 4 registros de artigos publicados, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Autores que mais publicaram artigos sobre o tema.

Fonte: Resultado da pesquisa.

Para a seleção dos artigos mais importantes, foi utilizado inicialmente o programa EndNote e foi aplicado filtro aos títulos dos artigos localizados, excluindo assim artigos que não possuíam os termos de interesse deste trabalho e para validação do resultado obtido foi realizada leitura do resumo de cada um dos artigos resultantes da pesquisa para comprovar a correlação de cada artigo com o tema foco deste trabalho.

Realizou-se também classificação dos setores econômicos abordados pela pesquisa apresentada em cada um dos artigos selecionados.

Na Tabela 3 é apresentada a seleção dos dez principais artigos sobre a comunicação sem fio para a Indústria 4.0, bem como o setor econômico predominante.

Tabela 3 - Artigos selecionados como relevantes para a temática do estudo.

Título do Artigo	Setor Econômico	Referência
<i>Safety and progress for distributed cyber-physical systems with unreliable communication</i>	Indústria Transportes	Bak <i>et al.</i> (2015)
<i>A system for response and prevention of security incidents in wireless sensor networks</i>	Infraestrutura	Midi, Sultana e Bertino (2016)
<i>High-level design of wireless sensor networks for performance optimization under security hazards</i>	Indústria	Peñil <i>et al.</i> (2017)
<i>Security-aware waveforms for enhancing wireless communications privacy in cyber-physical systems via multipath receptions</i>	Indústria Infraestrutura	Xu <i>et al.</i> (2017)
<i>Adaptive real-time communication for wireless cyber-physical systems</i>	Indústria	Zimmerling <i>et al.</i> (2017)
<i>IO-link wireless enhanced factory automation communication for industry 4.0 applications</i>	Indústria Infraestrutura	Heynicke <i>et al.</i> (2018)
<i>Emerging trends in hybrid wireless communication and data management for the industry 4.0</i>	Indústria	Lucas-Estañ <i>et al.</i> (2018)
<i>Holistic cyber-physical management for dependable wireless control systems</i>		Ma <i>et al.</i> (2018)
<i>Physical layer key generation: securing wireless communication in automotive cyber-physical systems</i>	Indústria Infraestrutura	Wan, Lopez e Faruque (2018)
<i>Improving devices communication in Industry 4.0 wireless networks</i>		Kunst <i>et al.</i> (2019)

Fonte: Resultado da pesquisa.

No contexto dos dez artigos selecionados identificou-se como temas emergentes citados pelos dos autores, o desenvolvimento de programa computacional que permita tomadas de decisão e envio de comandos de um veículo autônomo para o outro, segundo a abordagem apresentada no trabalho de Bak *et al.* (2015) buscando reduzir o envio de informações ao controlador central, e desta forma reduzir os requisitos computacionais deste controlador central, mantendo, ao mesmo tempo, a segurança física dos veículos autônomos (AGV).

O segundo tema identificado foi o desenvolvimento de programa computacional que automaticamente realize a detecção, o diagnóstico e emissão de resposta para conter/eliminar ataques avançados ocasionados por *worms-holes* ou ataques do tipo *Sybil*. para prevenção e resposta a incidentes de segurança em redes de sensores sem fio.

O terceiro tema emergente identificado indica o desenvolvimento de programa computacional simulador de rede segura de sensores sem fio que contemple protocolos de roteamento de última geração e adição de métricas de criptografia.

Desenvolver um *firmware* para rede segura de sensores sem fio que reconheça ataques cibernéticos e que se realimente com os dados das estimativas e métodos de ataque fornecidas pelo simulador, ocupa a posição do quarto tema emergente identificado.

E o quinto tema indica a identificação dos limitantes e sugere o desenvolvimento de soluções para viabilizar a coexistência de tecnologias de comunicação sem fio aplicáveis a Indústria 4.0, considerando a segurança da informação dos sistemas ciberfísicos.

5. Considerações finais

Após a análise dos dados identificados nos principais artigos internacionais, os resultados respondem ao problema de pesquisa por meio do levantamento das publicações associadas a Indústria 4.0 e a comunicação sem fio, bem como os temas emergentes sobre o assunto.

Os trabalhos publicados nos últimos cinco anos sobre a comunicação sem fio em aplicações da Indústria 4.0 exploram intensivamente o desenvolvimento de programas computacionais.

Como principais temas emergentes sugeridos pelos autores identificam a necessidade de criação de algoritmos que objetivam a melhoria da segurança, eficiência, redução de requisitos de *hardware* para a transmissão de informações sem a necessidade de conexão física, e o estudo da conectividade dos diversos dispositivos que fazem uso das diversas tecnologias de comunicação.

Observa-se nos estudos selecionados e pelas descobertas identificadas, a oportunidade de realização de estudos empíricos e longitudinais que utilizem métodos estruturados de triangulação de dados, para validação das proposições teóricas quanto a utilidade dos atuais protocolos de comunicação sem fio utilizados no projeto de dispositivos industriais.

Por fim, o uso das bases de dados IEEE, WoS e ACM pode ser apresentada nestas considerações finais como um limitante e também como indicativo de possibilidade de ampliação deste estudo, da mesma forma que a utilização de outros termos análogos de pesquisa possam auxiliar na obtenção de mais documentos para serem analisados.

Como sugestões para estudos futuros, além das já pontuadas como objetivo desse trabalho, sugere-se incluir o estudo da segurança das informações transmitidas pela rede de sensores sem fio e analisar a correlação da segurança da informação com cada um dos conceitos tecnológicos constituintes da plataforma da Indústria 4.0.

Referências

ANDERL, Reiner. Industrie 4.0: fundamentals, scenarios for application and strategies for implementation. *Diálogo Brasil-Alemanha de Ciência, Pesquisa e Inovação*, São Paulo, v. 4, 2015.

BAK, Stanley et al. Safety and progress for distributed cyber-physical systems with unreliable communication. *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, v. 14, n. 4, p. 1-22, 2015.

BRETTEL, Malte et al. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: an Industry 4.0 perspective. *International Journal of Information and Communication Engineering*, v. 8, n. 1, p. 37-44, 2014.

CHEN, Min; WAN, Jiafu; LI, Fang. Machine-to-machine communications: architectures, standards and applications. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, v. 6,

n. 2, p. 480-497, 2012.

GUEDES, Vânia L. S.; BORSCHIVER, Suzana. Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. *VI CIFORM - UFBA*, Salvador, p. 1-18, 2005.

HEBERGER, Anne E.; CHRISTIE, Christina A.; ALKIN, Marvin C. A bibliometric analysis of the academic influences of and on evaluation theorists' published works. *American Journal of Evaluation*, v. 31, n. 1, p. 24-44, 2010.

HEYNICKE, Ralf et al. IO-Link Wireless enhanced factory automation communication for Industry 4.0 applications. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, v. 7, n. 1, p. 131-142, 2018.

KUNST, Rafael et al. Improving devices communication in Industry 4.0 wireless networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 83, p. 1-12, 2019.

LUCAS-ESTAN, M. et al. Emerging trends in hybrid wireless communication and data management for the Industry 4.0. *Electronics*, v. 7, n. 400, p. 1-19, 2018.

MA, Yehan et al. Holistic cyber-physical management for dependable wireless control systems. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, v. 3, n. 1, p. 1-25, 2018.

MIDI, Daniele; SULTANA, Salmin; BERTINO, Elisa. A system for response and prevention of security incidents in wireless sensor networks. *ACM Transactions on Sensor Networks*, v. 13, n. 1, p. 1-38, 2016.

MINISTRY FOR ECONOMIC AFFAIRS AND ENERGY; MINISTRY OF EDUCATION AND RESEARCH. *What is Industrie 4.0?* Plattform I4.0. 2019.

PEÑIL, Pablo et al. High-level design of wireless sensor networks for performance optimization under security hazards. *ACM Transactions on Sensor Networks*, v. 13, n. 3, p. 1-37, 2017.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas de pesquisa e do trabalho acadêmico*. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SANTOS, Diego Rafael Guedes dos; VOLANTE, Carlos Rodrigo. A importância da tecnologia sem fio na Indústria 4.0. *Interface Tecnológica*, p. 245-254, 2018.

SANTOS, Maribel Yasmina et al. A Big Data system supporting Bosch Braga Industry 4.0 strategy. *International Journal of Information Management*, p. 1-11, 2017.

WAN, Jiang; LOPEZ, Anthony; FARUQUE, Mohammad Abdullah Al. Physical layer key generation: securing wireless communication in automotive cyber-physical systems. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, v. 3, n. 2, p. 1-26, 2018.

XU, Qian et al. Security-aware waveforms for enhancing wireless communications privacy in cyber-physical systems via multipath receptions. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 4, n. 6, p. 1924-1933, 2017.

ZIMMERLING, Marco et al. Adaptive real-time communication for wireless cyber-physical systems. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, v. 1, n. 2, p. 1-29, 2017.