REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA DA INTEROPERABILIDADE NO CONTEXTO DA GESTÃO ENERGÉTICA E INDÚSTRIA 4.0

Angélica Duarte Lima [1] (gueia.lima@gmail.com), Eduardo de Freitas Rocha Loures [2] (eduardo.loures@pucpr.br)

[1] Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Engenharia de Produção
[2] Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR); Engenharia de Produção e Sistemas

RESUMO: Com objetivo de melhorar seu desempenho na gestão energética as indústrias têm recorrido a soluções da indústria 4.0. Para implantação destas tecnologias é importante avaliar questões de interoperabilidade. O objetivo desse trabalho é levantar na literatura artigos neste contexto. Para tanto, realizou-se buscas através das bases Science Direct, Scopus e Web of Science. O portfólio final é composto por oito artigos, que analisam principalmente aspectos da interoperabilidade semântica. No contexto estudado, não foram encontrados artigos que abordam a avaliação de interoperabilidade organizacional, se mostrando uma oportunidade de pesquisa para melhoria da eficiência energética.

PALAVRAS-CHAVE: *Interoperabilidade, Indústria 4.0, Eficiência Energética*

A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW OF INTEROPERABILITY IN THE CONTEXT OF ENERGY MANAGEMENT AND INDUSTRY 4.0

ABSTRACT: Within the objective to improve their performance on the energy management, industries have appeal to solve from the Industry 4.0, To being implanted technologies on the industry is important to evaluate interoperability questions. The aim of this paper is to find in the literature articles, among this context. In order to get this, were performed a research through scientific article bases like Science Direct, Scopus and web of Science. The final portfolio is composed of eight papers, that analyze mainly aspects of semantic interoperability. In the reviewed context, no articles were found that address the assessment of enterprise interoperability. It is a research opportunity to improvement of energy efficiency.

KEYWORDS: *Interoperability, Industry 4.0, Energy Efficiency*

1. INTRODUÇÃO

Eficiência Energética é fundamental para o desempenho econômico e sustentabilidade ambiental no contexto industrial. Uma forma promissora de melhorar a eficiência energética é por meio da implantação de um sistema de gestão energia (SCHULZE et al, 2016).

O aumento de preço da energia, questões ambientais, novas políticas de oferta e demanda acentuaram a busca eficiência energética. Cada vez mais a gestão da eficiência energética tem ganhado importância como forma de aumentar a competitividade das organizações (SCHULZE et al, 2016).

As organizações industriais têm utilizado soluções da indústria 4.0, tais como inteligência artificial, internet das coisas e sistemas ciber físicos para melhorar seu desempenho na gestão energética as indústrias (BUROW et al., 2019).

No entanto, mesmo com aumento significativo de medidas de eficiência energética econômica ainda é baixo a quantidade de implantação nas indústrias, se comparado com o potencial. Isso ocorre devido à existência de barreiras (PALM; BACKMAN, 2020).

As barreiras são incompatibilidades que podem ocorrer em diversos níveis na empresa. Essas incompatibilidades podem ser compreendidas e removidas por meio do desenvolvimento da interoperabilidade.

O conceito de interoperabilidade inicialmente se referia unicamente a capacidade de comunicação dos softwares, mas com o passar do tempo o ganhou um significado mais amplo em diferentes domínios (CHEN et al., 2008). O Institute of Electrical and Electronics Engineers (2000) define interoperabilidade como a “capacidade de dois ou mais sistemas ou elementos trocarem informações entre si e usarem as informações trocadas”.

Atualmente, a interoperabilidade se classifica na literatura em diversos tipos: semântica, técnica, organizacional, política, internacional e legal (SAYÃO; MARCONDES, 2008). Alguns autores chamam os tipos de camadas da interoperabilidade.

Neste contexto, a avaliação de interoperabilidade auxilia as organizações a conhecer seus pontos fortes e fracos para interoperar e quais ações priorizar. A avaliação de interoperabilidade pode ser de três tipos: Avaliação de potencialidade, de compatibilidade e de desempenho. (CHEN et al., 2006, 2008) Os modelos de maturidade se mostram promissores para dar um direcionamento que permita a evolução para um próximo nível de maturidade (ANTUNES et al., 2014).

Neste contexto, este estudo propõe uma revisão da literatura sobre avaliação de interoperabilidade na aplicação de tecnologias habilitadora da Indústria 4.0 para melhoria da eficiência. Será apresentado uma análise bibliométrica e do conteúdo dos artigos encontrados.

O artigo é composto de três seções. Sendo a primeira a introdução, em que o tema e os objetivos são exibidos. Na sequência a seção aborda a metodologia. Por último, a Seção três traz os resultados da análise do conteúdo e da bibliométrica e as considerações finais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo, foram utilizadas as fases iniciais da metodologia Methodi Ordinatio, proposta por Pagani et al. (2015, 2017). O método oferece uma estratégia para busca e coleta e auxilia na identificação dos estudos relevantes com o tema.

A Methodi Ordinatio é composta por nove etapas: (i) Estabelecendo a intenção de pesquisa; (ii) Pesquisa preliminar com as palavras-chave nas bases de dados; (iii) Definição da combinação das palavras-chave e das bases de dados a serem utilizadas; (iv) Busca final nas bases de dados; (v) Procedimentos de filtragem; (vi) Identificação do fator de impacto, ano de publicação e número de citações; (vii) Classificando os artigos utilizando o InOrdinatio; (viii) Localizando os trabalhos em formato integral; (ix) Leitura sistemática e análise dos artigos.

Foi realizado leitura preliminar para a definição dos termos de busca. As palavras-chave escolhidas para a busca final são separadas em três eixos, que contemplam as três áreas de abrangência deste estudo. A Tabela 1 apresenta os eixos e suas palavras-chave.

TABELA 1. Eixos da pesquisa final e Palavras-chave.

Eixo I: Interoperabilidade	Eixo II: Eficiência energética	Eixo III: Indústria 4.0
Enterprise Interoperability Assessment	Energy efficiency	Industry 4.0
Interoperability Assessment	Energy management	Smart Manufacturing
Interoperability	Industrial energy efficiency	Smart Factory

Fonte: Autoria Própria (2020).

Para a elaboração deste estudo utilizou-se as bases de dados Scopus, Web of Science e Science Direct. As pesquisas foram feitas na modalidade avançada, utilizando os termos de busca

da Tabela 2 encontradas no título, resumo e nas palavras-chave. Nos procedimentos de filtragem foi colocado artigos de periódicos e eventos e não foi feito recorte de tempo para a pesquisa.

Foi realizado busca nas bases para cada eixo, utilizando o operador booleano *"OR"*. Posteriormente foram realizadas todas as combinações dos eixos em duplas usando o operador booleano *"AND"*. Por fim, foi combinado todas as palavras-chave dos três eixos, que resultou no portfólio bibliográfico que será analisado na próxima seção.

Percebe-se que os eixos de estudo possuem uma grande quantidade de artigos, sendo áreas de estudos bastante consolidadas. Quanto a estudos de eficiência energética no contexto da indústria 4.0 são encontrados 324 artigos, mostrando a relevância do tema. No entanto, quando acrescentado o eixo da interoperabilidade o resultado diminui para 9.

Os artigos encontrados na busca utilizando os três eixos foram lidos e escolhidos os alinhados com o tema para compor o portfólio bibliográfico. Nesta etapa é aplicada a equação do método (InOrdinatio) para classificar os artigos e estabelecer um ponto de corte, mas como foram poucos artigos não será realizado corte, apenas classificados para ver a relevância e impacto dos estudos.

Após definido o portfólio bibliográfico será realizado análise bibliométrica, para compreender o cenário geral do tema e análise do conteúdo dos artigos selecionados.

TABELA 2. Eixos da pesquisa final e Palavras-chave.

Temo de busca	Scopus	Web of Science	Scopus	Total
Eixo I	49.293	15.172	3.521	67.986
Eixo II	24.1195	77.309	28.065	346.569
Eixo III	5.297	5.117	1.951	12.365
Eixo I AND Eixo II	239	187	60	486
Eixo I AND Eixo III	130	145	66	341
Eixo II AND Eixo III	150	123	51	324
Eixo I AND Eixo II AND Eixo III	5	3	1	9

Fonte: Autoria Própria (2020).

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A pesquisa nas bases retornou 9 artigos. Após leitura dos títulos e resumos foi verificado que oito artigos contemplam o tema de pesquisa. A Tabela 3 apresenta os artigos selecionados para o portfólio bibliográfico. Apesar de não ter sido feito delimitação dos temas dos artigos são encontrados artigos apenas de 2015 a 2020.

TABELA 3. Portfólio bibliográfico.

Autor/ ano	Título	Citações
Wu et al. (2015)	Smart Grids with Intelligent Periphery: An Architecture for the Energy Internet	2015
Jerzembeck (2016)	Industry 4.0 potential in textile production	2016
Nwauka et al. (2018)	Virtual Power Plant basic requirements for integration of Distributed Energy Resources, driven by industry 4.0	2018
Sisinni et al. (2018)	Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions	2018
Bakakeu et al. (2019)	Automated reasoning and knowledge inference on OPC UA information models	2019
Burow et al. (2019)	Sustainable Data Management for Manufacturing	2019
Gonzalez et al. (2019)	A Literature Survey on Open Platform Communications (OPC) Applied to Advanced Industrial Environments	2019
Priyanka et al. (2020)	A smart-integrated IoT module for intelligent transportation in oil industry	2020

Fonte: Autoria Própria (2020).

3.1 Análise do conteúdo do portfólio bibliográfico

Wu et al (2015) propõem uma arquitetura que permita a utilização mais eficiente das energias renováveis de geração distribuída gerenciadas por tecnologias da internet. Também neste contexto de geração de energia renovável, Nwauka et al. (2018) levantam os requisitos técnicos e operacionais para central elétrica virtual para integração com a geração distribuída usando recursos da indústria 4.0 que permitam a flexibilidade e estabilidade do balanço de energia.

Os autores afirmam que precisa ter uma alta integração entre os sistemas de geração descentralizado e a rede de distribuição, sendo necessário oferecer alta interoperabilidade para uma distribuição ideal em tempo real.

Burow et al (2019) apresentam um estudo de caso de melhoria da eficiência energética, por meio de aplicação ontologia para converter em um modelo unificado os dados de entrada para um sistema de Inteligência Artificial. Os pesquisadores expõem a necessidade de interoperabilidade no nível de dados na indústria 4.0.

Dois artigos abordam sobre a plataforma aberta comunicações (OPC). No primeiro, Bakakeu et al (2019) aplicam em estudos de caso solução desenvolvida para o gerenciamento inteligente de energia e interfaces homem-máquina, usando interoperabilidade semântica. No outro estudo, Gonzalez et al. (2019) dão uma visão geral de aplicabilidade de sistemas OPC, entre as aplicações na indústria e energia.

Outros estudos abordam o uso de soluções de IoT (Internet of Things) para melhoria da eficiência energética. Sisinni et al. (2018) apresentam uma visão geral sobre o uso de IoT em indústrias, entre as aplicações apresentadas Priyanka et al. (2020) propõem e validam um módulo proposto, para monitorar oleoduto de petróleo. Na solução desenvolvida, sensores foram conectados enviando dados de forma eficiente para o servidor na nuvem com tempo mínimo de computação com melhor rendimento. Os autores afirmam que para o uso de sensores sem fio e soluções de IoT é essencial que os problemas de interoperabilidade sejam superados.

3.2 Análise bibliométrica do portfólio bibliográfico

Dos oito artigos analisados quatro são publicados em periódicos e quatro em anais de eventos. Entre os artigos publicados em revistas não se percebe predomínio de um periódico, pois nenhum apresentou mais de um artigo no portfólio. Quanto a qualidade destes periódicos, a Figura 1 apresenta o Fator de Impacto CiteScore 2019. O periódico de maior fator de impacto foi o IEEE Transactions on Industrial Informatics, com 13,9. Já a revista China Textile and Apparel não apresenta o índice.

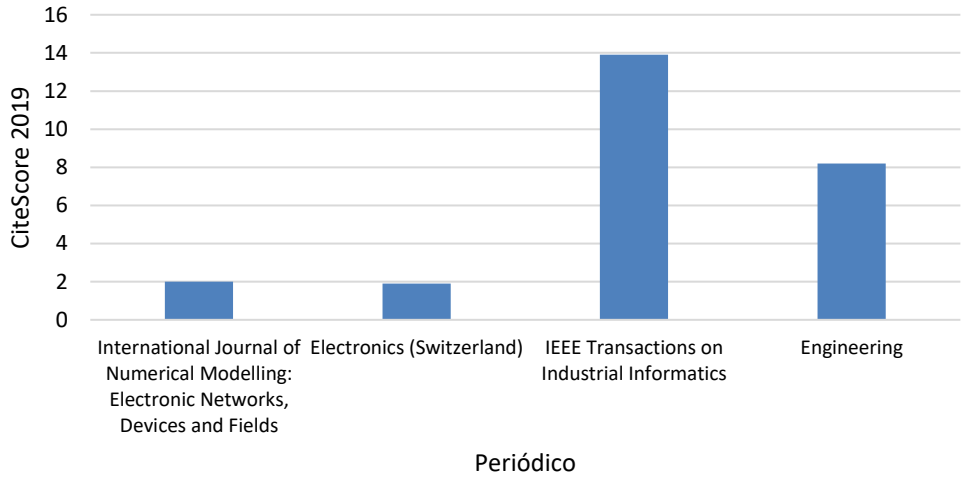


FIGURA 1. Fator de impacto dos periódicos do portfólio bibliográfico. Fonte: Autoria Própria (2020).

Outro fator analisado refere-se a origem das pesquisas. A Figura 2 mostra o mapa os países, identificando os que obtiveram o maior número de trabalhos publicados com legenda gradual de cores. O país com maior quantidade foi a Alemanha com três pesquisas.

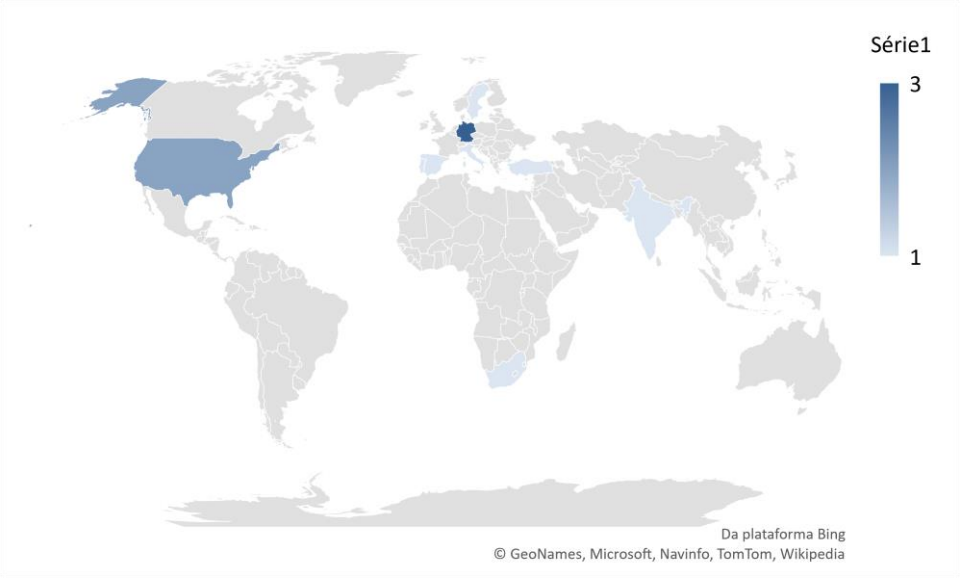


FIGURA 2. Gráfico das principais origens das publicações pesquisadas. Fonte: Autoria Própria (2020).

Quanto a citação dos artigos do portfólio bibliográfico no Google Acadêmico, o ano com mais citações foi 2020 com 263, conforme apresenta a Figura 3. O artigo mais citado foi o "*Industrial*

Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions" com 376 citações e o segundo mais citado é o "*Smart Grids with Intelligent Periphery: An Architecture for the Energy Internet*" com 66 citações.

Pode-se notar um aumento nas citações dos artigos do portfólio nos últimos anos. Um dos motivos para isso é a data de publicação dos artigos, que são bem atuais. Mas, é também um indicativo de aumento de interesse no tema. No entanto os artigos possuem uma grande variação no número de citações, se por um lado o mais citado tem 376 tem um artigo sem citações e cinco artigos com menos de 10.

Com relação as referências citadas pelos artigos do portfólio, 471 artigos são citados no total dos oito trabalhos, sendo que não houve citações em comum entre eles. Mostrando que não há autores predominantes no tema.

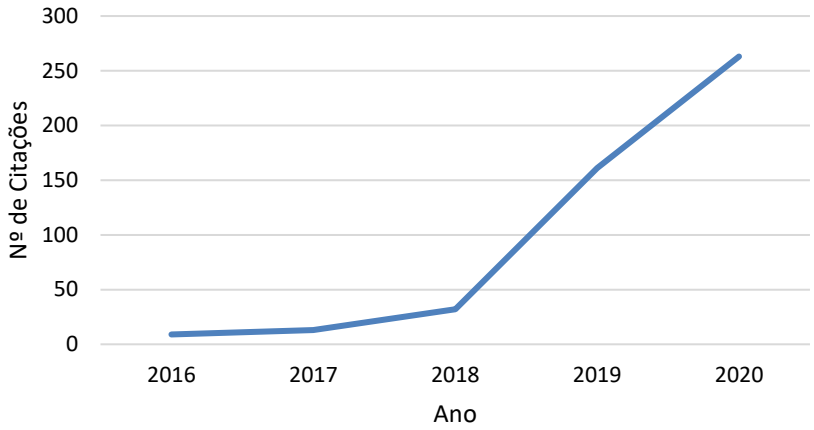


FIGURA 3. Citações dos artigos do portfólio bibliográfico. Fonte: Google Acadêmico (2020).

Também foram analisados os trabalhos encontrados em relação aos autores. Os oito artigos contaram com a participação de 31 autores e nenhum deles possuem mais de um artigo no portfólio. Para analisar a produtividade e o impacto da produção dos pesquisadores foi considerado o índice h. O autor com maior índice h foi o Varaiya P.P., com h=68 e 462 publicações e 17989 citações. A Figura 4 apresenta gráfico com o índice h e quantidade de publicações dos autores do portfólio bibliográfico.

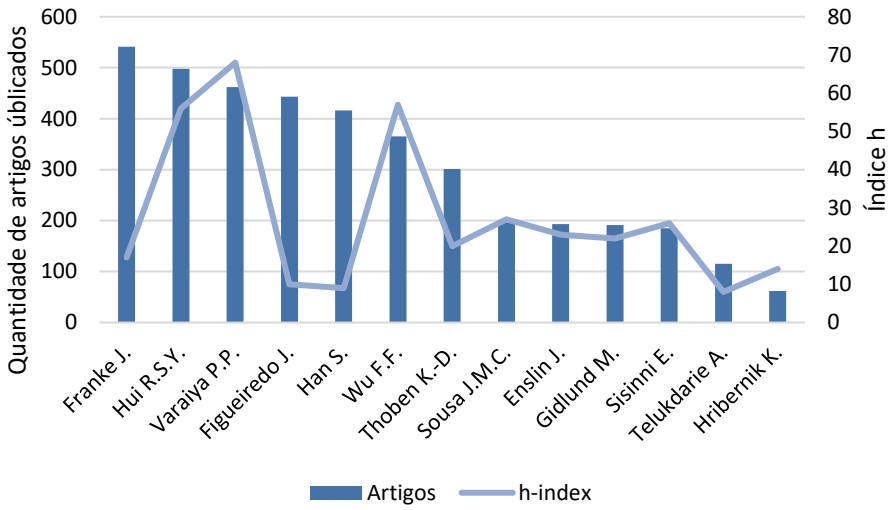


FIGURA 4. Quantidade de publicações e índice h dos autores do portfólio bibliográfico. Fonte: Scopus (2020).

Para a elaboração da rede de palavras-chave foram consideradas as que possuem duas ou mais ocorrências, que resultou em dois clusters. As palavras-chave mais frequentes foram *interoperability, Industrial energy efficiency* e *industry* 4.0, todas com 3 ocorrências. A Figura 5 apresenta as redes de co-ocorrência de palavras-chave para os 8 artigos.

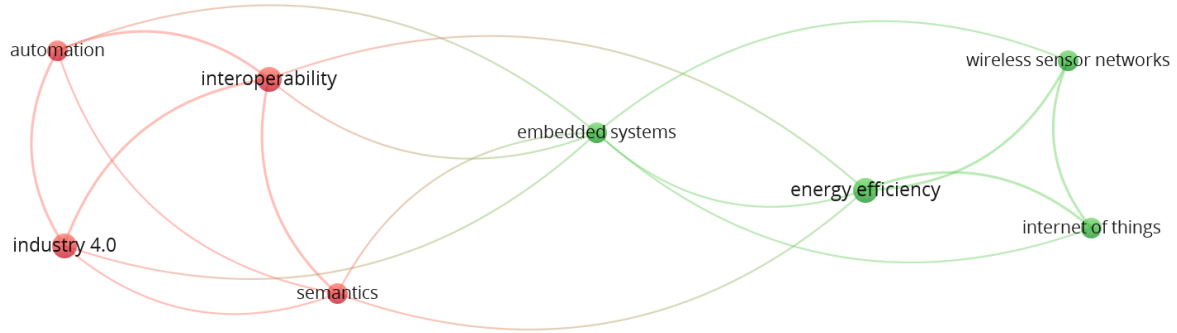


FIGURA 5. Rede de palavras-chave dos artigos selecionados. Fonte: Autoria Própria (2020).

3.2 Conclusões

Este trabalho buscou apresentar informações relevantes para área de pesquisa de eficiência energética. Por meio da aplicação do Methodi Ordinatio, se chegou a um portfólio bibliográfico com 8 artigos relevantes.

A análise bibliométrica mostrou os países com maior quantidade de pesquisas no portfólio bibliográfico foram a Alemanha (3) e os Estado Unidos (2). O autor com a maior quantidade de artigos foi o Franke J. (541 artigos). O pesquisador com o maior índice h e quantidade de citações foi o Varaiya P.P. (h=68 e 17989 citações).

Quanto ao conteúdo os autores trabalham conceitos de interoperabilidade semântica. A aplicação dos estudos foi em áreas distintas, tendo estudos voltados à geração distribuída de energia por fontes renováveis, integração entre máquinas e monitoramento de dutos de óleo.

Não foram encontrados, no portfólio, artigos sobre avaliação de interoperabilidade organizacional, no contexto da indústria 4.0 para melhoria da eficiência energética. Sendo uma oportunidade de pesquisas na área de gestão energética.

Sugere-se que em próximos trabalhos ampliar a busca em mais bases de dados. Também se vê como importante desenvolver estudo para a compreensão da maturidade para implantação das tecnologias da indústria 4.0 que melhorem a eficiência energética.

REFERÊNCIAS

BAKAKEU, J.; BROSSOG, M.; ZEITLER, J., FRANKE, J.; TOLKSDORF, S.; KLOS, H.; PESCHKE, J. Automated reasoning and knowledge inference on OPC UA information models. Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Industrial Cyber Physical Systems, ICPS 2019, art. no. 8780114, pp. 53-60, 2019.

BUROW, K.; FRANKE, M.; DENG, Q.; HRIBERNIK, K.; THOBEN, K. D. Sustainable Data Management for Manufacturing. Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2019, art. no. 8792808, 2019.

CHEN, D. Enterprise interoperability framework. Workshop on Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability (EMOI-INTEROP), 2006.

CHEN, D.; DUCQ, Y. How to measure interoperability: Concept and approach. 2008. IEEE International Technology Management Conference, ICE, 2008.

GONZÁLEZ, I., CALDERÓN, A.J.; FIGUEIREDO, J.; SOUSA, J.M.C. A literature survey on open platform communications (OPC) applied to advanced industrial environments. Electronics (Switzerland), 8 (5), art. no. 510, 2019.

JERZEMBECK, J. Industry 4.0 potential in textile production. China Textile and Apparel, 34 (2), pp. 50-52, 2016.

NWAUKA, O.; TELUKDARIE, A.; ENSLIN, J. Virtual Power Plant basic requirements for integration of Distributed Energy Resources, driven by industry 4.0. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2018 (JUL), pp. 511-525, 2018.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. 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. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. Ciência da Informação, v. 46, n. 2, 2017.

PRIYANKA, E.B.; MAHESWARI, C.; THANGAVEL, S. A smart-integrated IoT module for intelligent transportation in oil industry. International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields, art. no. e2731, 2020.

SAYÃO, L. F.; MARCONDES, C. H. O desafio da interoperabilidade e as novas perspectivas para as bibliotecas digitais. TransInformação, Campinas, 20(2): 133-148, mai/ago, 2008.

SCHULZE, M., NEHLER, H., OTTOSSON, M., THOLLANDER, P. Energy management in industry - A systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. Journal of Cleaner Production, pp. 1-17, 2015.

SISINNI, E.; SAIFULLAH, A.; HAN, S.; JENNEHAG, U.; GIDLUND, M. Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 14 (11), art. no. 8401919, pp. 4724-4734, 2018.

WU, F.F.; VARAIYA, P.P.; HUI, R.S.Y. Smart Grids with Intelligent Periphery: An Architecture for the Energy Internet. Engineering, 1 (4), pp. 436-446, 2015.