



SISTEMAS SUPERVISORES DIRECIONADOS À QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

SUPERVISORY SYSTEMS AIMED AT THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION AND APPLICATION OF DISRUPTIVE TECHNOLOGIES: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

JOSIANE LIMA DE ARAÚJO

UNINOVE – UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

WALTER CARDOSO SÁTYRO

UNINOVE – UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

Nota de esclarecimento:

Comunicamos que devido à pandemia do Coronavírus (COVID 19), o IX SINGEP e a 9ª Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) foram realizados de forma remota, nos dias **20, 21 e 22 de outubro de 2021**.

SISTEMAS SUPERVISORES DIRECIONADOS À QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Objetivo do estudo

Buscando-se contribuir com a literatura científica e com a prática organizacional, este estudo tem como objetivo identificar os modelos de sistemas supervisores com foco em projetos direcionados à quarta revolução industrial e a aplicação de suas respectivas tecnologias disruptivas.

Relevância/originalidade

As tecnologias disruptivas criam grandes desafios para as indústrias, em nível global. Diante disso, apresentações de modelos de sistemas supervisores em gestão de projetos para a quarta revolução industrial são consideradas relevantes para a literatura científica e para a prática organizacional.

Metodologia/abordagem

O processo de pesquisa foi desenvolvido com base em dados secundários e abordagem “qualitativa-quantitativa”, aplicando-se o método de “revisão sistemática da literatura”, combinando-o com estudo “bibliométrico”, “análise de redes” e “análise de conteúdo”.

Principais resultados

Obtenção de um portfólio de artigos científicos, com potencial para contribuir com pesquisadores na direção de pesquisas sobre modelos de sistemas supervisores em projetos vinculados à quarta revolução industrial e a aplicação de suas respectivas tecnologias disruptivas.

Contribuições teóricas/metodológicas

Nas contribuições teóricas e metodológicas, o mapeamento de citações por meio do “software VOSviewer” possibilitou a análise sistemática e de conteúdo das mais influentes publicações científicas sobre o tema proposto.

Contribuições sociais/para a gestão

Indicação de um conjunto de artigos científicos sobre sistemas supervisores em projetos direcionados à “quarta revolução industrial e aplicação das tecnologias disruptivas”, favorável a questões sociais e processos de gestão.

Palavras-chave: Sistemas Supervisores, Quarta Revolução Industrial, Indústria 4.0, Tecnologias Disruptivas, Tecnologias Habilitadoras



SUPERVISORY SYSTEMS AIMED AT THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION AND APPLICATION OF DISRUPTIVE TECHNOLOGIES: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Study purpose

Seeking to contribute to the scientific literature and to organizational practice, this study aims to identify the models of supervisory systems focused on projects aimed at the fourth industrial revolution and the application of their respective disruptive technologies.

Relevance / originality

Disruptive technologies create great challenges for industries, globally. In view of this, presentations of models of supervisory systems in project management for the fourth industrial revolution are considered relevant to the scientific literature and to organizational practice.

Methodology / approach

The research process was developed based on secondary data and a "qualitative-quantitative" approach, applying the "systematic literature review" method, combining it with "bibliometric" studies, "network analysis", and "content analysis".

Main results

Obtaining a portfolio of scientific articles, with the potential to contribute with researchers towards research on supervisory system models in projects linked to the fourth industrial revolution and the application of their respective disruptive technologies.

Theoretical / methodological contributions

In the theoretical and methodological contributions, the mapping of citations through the "VOSviewer software" enabled the systematic and content analysis of the most influential scientific publications on the proposed theme.

Social / management contributions

Indication of a set of scientific articles about supervisory systems in projects aimed at the "fourth industrial revolution and application of disruptive technologies", favorable to social issues and management processes.

Keywords: Supervisory Systems, Fourth Industrial Revolution, Industry 4.0, Disruptive Technologies, Enabling Technologies

1 Introdução

Os avanços tecnológicos da atualidade e a industrialização avançada impulsionam melhorias nas atividades industriais, a fim de reduzir os custos, aumentar a produtividade e melhorar a capacidade operacional. Nesta abordagem contextual, evidencia-se a quarta revolução industrial, indicando a necessidade na adequação de processos produtivos sob o direcionamento de evoluções tecnológicas inovadoras, o que gera grandes desafios às organizações, a fim de se manterem competitivas no mercado global (Drath & Horch, 2014).

Nesse contexto, as tecnologias habilitadoras, também denominadas de tecnologias disruptivas, referem-se ao embasamento tecnológico que sustenta a Indústria 4.0, como *Big Data, Cloud Computing Cyber_Physical Systems, Internet of Things, Advanced Robotics, Digital Manufacturing, Additive Manufacturing e Systems Integration* (Rojko, 2017).

Conforme Saézn e Capote (2002), os conceitos de inovação tecnológica podem ser embasados em processos, dos quais novos produtos, equipamentos, linhas de produção, distribuições de bens e serviços e sistemas gerenciais se introduzem a inter-relacionamentos a níveis macroeconômicos.

Deste modo, as organizações se tornam cada vez mais exigentes na busca por processos produtivos eficientes, que possam levá-las a ganhos econômicos mais favoráveis. A imprecisão na coleta de dados no chão-de-fábrica, tem sido uma das questões importantes, com relação ao explanado, o que pode ocasionar perdas na lucratividade das organizações, além de ameaçar a sua permanência neste mercado globalizado (Favareto, 2001).

Neste contexto, destacam-se os supervisórios de coleta de dados de chão-de-fábrica, os quais são sistemas de supervisão em tempo real que possibilitam identificações de baixa produtividade e problemas na linha industrial produtiva. Em complemento aos sistemas de supervisão e monitoramento do chão-de-fábrica, realça-se o uso do Controlador Lógico Programável (CLP), referindo-se a um equipamento que, associado a sensores e dispositivos eletrônicos e digitais, permite capturar dados das máquinas industriais, além da possibilidade de controlar as mesmas. Nesse sentido, classifica-se o CLP como principal responsável entre o sistema supervisor e a máquina de produção industrial (Vianna, 2008).

Assim, empresas especialistas na elaboração, implementação e venda de sistemas supervisores buscam a atualização de suas tecnologias (softwares e hardwares), direcionando-as aos padrões da quarta revolução industrial, a fim de agregarem valores em seus produtos, buscando-se a permanência no mercado, além de assegurar a competitividade.

Com isso, a apresentação e estudo dos modelos existentes sobre sistemas supervisores de coleta de informações nos projetos voltados para a quarta revolução industrial são considerados interessantes para a literatura científica e para prática organizacional. Desta feita, com o propósito de contribuir com a literatura científica e com a prática organizacional, este estudo tem como objetivo identificar os modelos de sistemas supervisores com foco em projetos direcionados à quarta revolução industrial e a aplicação de suas respectivas tecnologias disruptivas. Para este fim, utilizou-se a metodologia de revisão sistemática da literatura, mesclando, análise bibliométrica, análise de redes e análise de conteúdo.

Após a introdução, a estrutura deste artigo apresenta o referencial teórico, seguida dos procedimentos metodológicos, a análise dos resultados, as conclusões e as referências.

2 Referencial teórico

2.1 Sistemas Supervisores e Controladores Lógicos Programáveis

Os sistemas supervisores de chão-de-fábrica oferecem três funções básicas, a primeira função responsável pela supervisão, que compreende do monitoramento de processos como sinópticos animados, gráficos de tendências variáveis e a criação de múltiplos relatórios. A segunda função está relacionada à operação, substituindo as funções de mesa de controle e atividades pertinentes a acionamentos e o desligamento de equipamentos. A terceira e última, refere-se às funções avançadas de controle, possuindo uma linguagem que permite definir diretamente as ações de controle e operações de entradas e saídas, aplicadas e executadas por processos tecnológicos remotos (Vianna, Bringhenti, & Martins, 2008).

Nesse sentido, os Controladores Lógicos Programáveis, surgiram com o propósito de automatizar e tornar flexíveis as plantas das linhas de produções em série, principalmente para o segmento automobilístico. Tratava-se de dispositivos que eram programados mediante a linguagem de programação Ladder (específica para automação), não padronizada. Devido aos problemas causados por falta de padronização, além do advento de avanços tecnológicos de hardwares e softwares, passou-se a publicar normas para as novas linguagens de programação e estruturas de software, surgindo novas versões de CLPs que permitiam implementar funções matemáticas complexas e avançados algoritmos de controle (Moraes & Castrucci, 2007).

2.2 A Indústria 4.0 e as Principais Tecnologias Integradas aos Sistemas Supervisores

Os sistemas denominados *Cyber-Physical System (CPS)* ou Sistema Cyber-Físico, tem sua fundamentação baseada na união de plataformas de comunicação, computação avançada e controle da informação. Em termos dos principais pilares da Indústria 4.0, o CPS aliado ao Big Data e a Internet das Coisas representam algumas das principais tecnologias disruptivas da quarta revolução industrial. Essas tecnologias são as responsáveis pelos processos mutáveis de produção, alinhadas a largas escalas. Em vista disso, o CPS tem a função de integrar os dados de manufatura com dados gerenciais, possibilitando que as tomadas de decisões sejam autônomas em uma escala reduzida de tempo (Cheng, Liu, & Quiang, 2016).

Os conceitos de Big Data referem-se ao ramo da tecnologia da informação que possibilita a otimização e a performance de processos, da qualidade de produtos, além da geração de dados direcionados ao gerenciamento dos sistemas, embasados em alta velocidade, variedade, volume e segurança. O Big Data tem o importante propósito na maneira que os dados são processados, ou seja, independentemente da quantidade de dados existentes, esses dados recebem um tratamento ideal, avançado e específico ao processo produtivo aplicado a cada empresa (Zakir, Seymour, & Berg, 2015).

A ‘Internet das Coisas’ ou ‘*Internet of Things (IoT)*’, trata da integração de objetos físicos e virtuais também nas redes interconectadas, permitindo que dispositivos possam realizar coletas, trocas e armazenagens de dados que serão processados e analisados, dentre informações e serviços em larga escala. Além disso, refere-se a uma extensão da internet atual, emergindo de vários avanços relacionados a tecnologias de sistemas embarcados, proporcionando aos objetos convencionais e do dia-a-dia a se conectarem às diversas redes de comunicação (Santos *et al.*, 2016).

3 Metodologia

O presente estudo é caracterizado como essencialmente teórico, pela natureza dos artigos científicos e descritivo pela razão de seu objetivo, aplicando-se a lógica de uma pesquisa “indutiva” (Tasca *et al.*, 2010). O processo de pesquisa foi desenvolvido com base em dados secundários e abordagem qualitativa-quantitativa, aplicando-se o método de “revisão

sistemática” da literatura (Alcantara & Martens, 2019), combinando-o com estudo “bibliométrico”, “análise de redes” e “análise de conteúdo”.

Para compreender como se desenvolveu o campo de pesquisa sobre “Sistemas Supervisores em Projetos Direcionados à Quarta Revolução Industrial”, foram realizadas pesquisas na ‘base de dados Scopus’, utilizando-se os seguintes conjuntos de palavras-chave: (1) “*industry 4.0*” And “*supervisor system*”; (2) “*industry 4.0*” And “*supervisory system*”; (3) “*industry 4.0*” And “*manufacturing execution systems*”; (4) “*industry 4.0*” And “*mes*”; (5) “*industry 4.0*” And “*factory floor system*”; (6) “*industry 4.0*” And “*factory-floor system*”. Como resultado, foram obtidos 29 artigos científicos.

A Scopus, além de permitir pesquisas em sua própria base, permite também a extração de metadados, como: análise temporal das publicações; análise de internacionalidade; produtividade por áreas; periódicos (Carvalho, Fleury, & Lopes, 2013).

Embasado em Eck e Waltman, (2015), os metadados obtidos na Scopus foram transferidos ao software Vosviewer para a realização de análises de redes de citações e geração de mapas, principalmente, no que se refere às citações das publicações científicas mais relevantes, as quais foram utilizadas para a análise de conteúdo e apresentação de seus respectivos modelos propostos.

4 Análise dos resultados

Nesta seção apresenta-se os resultados pertinentes a medição e análise da performance bibliométrica, o mapeamento científico e a análise de sistemática de conteúdo.

4.1 Medição e análise do comportamento bibliométrico da literatura

Buscando-se analisar a evolução temporal das publicações científicas, é apresentado na Figura 1, o número de artigos científicos publicados por ano. A base de dados Scopus proporcionou uma quantidade de 29 artigos para periódicos, indicando que houve uma tendência de aumento do número de publicações ao longo dos anos, além de posterior oscilação no quadro de artigos científicos publicados.

Em um período inicial, entre 2013 e 2017, poucos artigos foram gerados. No ano de 2018 ocorre um aumento nas publicações dos artigos científicos relacionados ao tema deste estudo. A partir de 2019, houve um decréscimo no número de publicações, com apenas três artigos científicos. Por último, para o ano de 2020, somente um artigo publicado.

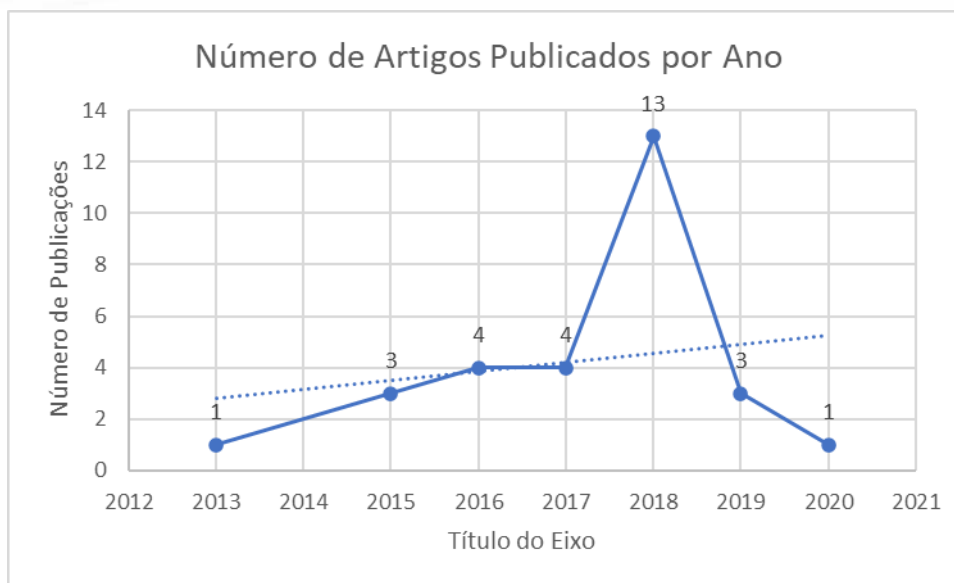


Figura 1 – Número de artigos publicados por ano

Fonte: elaborado pelos autores

Em termos de análise da internacionalidade dos artigos, a Figura 2 apresenta claramente a predominância de publicações relacionadas à Alemanha, Espanha e China. Dos artigos existentes sobre o tema proposto, cerca de 72,41% encontram-se relacionados a estes três primeiros países.

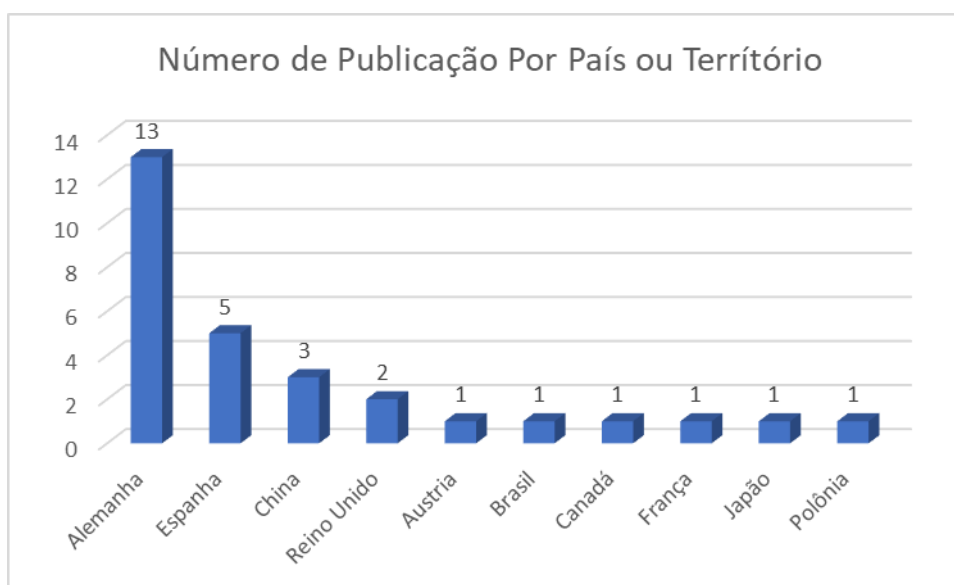


Figura 2 – Número de publicação por país ou território

Fonte: elaborado pelos autores

Na Tabela 1 são apresentados os periódicos e suas respectivas quantidades de publicações existentes, relacionadas ao tema proposto. Em termos de número de publicações destacaram-se os periódicos, "*Productivity Management*" e o "*ZWF Zeitschrift Fuer*

Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb", apresentando respectivamente oito e três publicações cada, os demais periódicos apresentaram somente uma publicação.

Tabela 1 – Periódicos e quantidades de publicações relacionadas ao tema

Periódicos	Publicações
Productivity Management	8
ZWF Zeitschrift Fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb	3
Chernye Metally	1
Elektrotechnik Und Informationstechnik	1
Engineering Applications Of Artificial Intelligence	1
Foundations Of Management	1
Future Internet	1
IEEE Internet Of Things Journal	1
IFAC Papersonline	1
International Journal Of Computer Integrated Manufacturing	1
International Journal Of Innovative Technology And Exploring Engineering	1
International Journal Of Interactive Mobile Technologies	1
International Journal Of Production Research	1
Journal Of Industrial Engineering And Management	1
Journal Of Manufacturing Systems	1
Journal Of Sensor And Actuator Networks	1
Production Planning And Control	1
Sensors Switzerland	1
Sustainability	1
Vakuum In Forschung Und Praxis	1

Nota. Fonte: elaborado pelos autores

Na figura 3 são apresentadas as áreas distribuídas em termos percentuais dos 29 artigos encontrados sobre o tema proposto. Conforme os dados da figura, é possível verificar que as áreas mais produtivas no diz respeito ao número de publicações são: "Engenharia com 37%", "Negócios, Gestão e Contabilidade com 18%" e "Ciência da Computação com 15%", que juntas representam cerca de 70% do total de pesquisas científicas existentes.

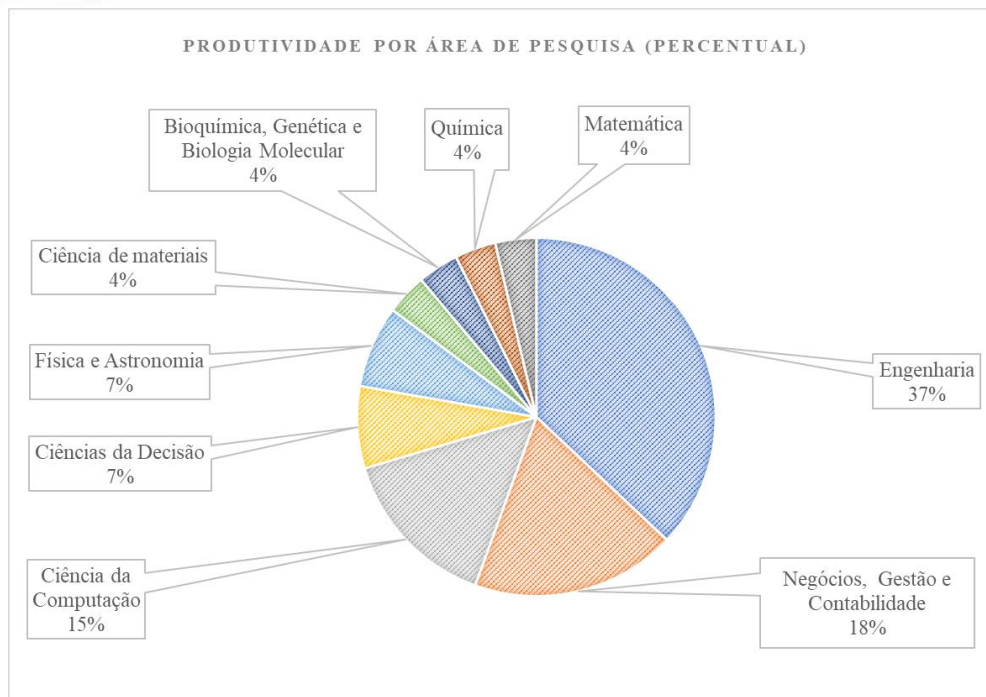


Figura 3 – Produtividade por área de pesquisa (percentual)
 Fonte: elaborado pelos autores

4.2 Análise de rede da representatividade das citações no ‘Mapa de Calor Vosviewer’

A representatividade das citações dos principais artigos científicos, encontram-se dispostas no mapa de rede na Figura 4. Um dos principais objetivos do mapeamento de rede de citações, trata-se da identificação das publicações mais influentes de determinado tema de pesquisa, de modo que os globos maiores, indicados no mapa do Vosviewer, referem-se aos documentos mais citados da coleção em análise.

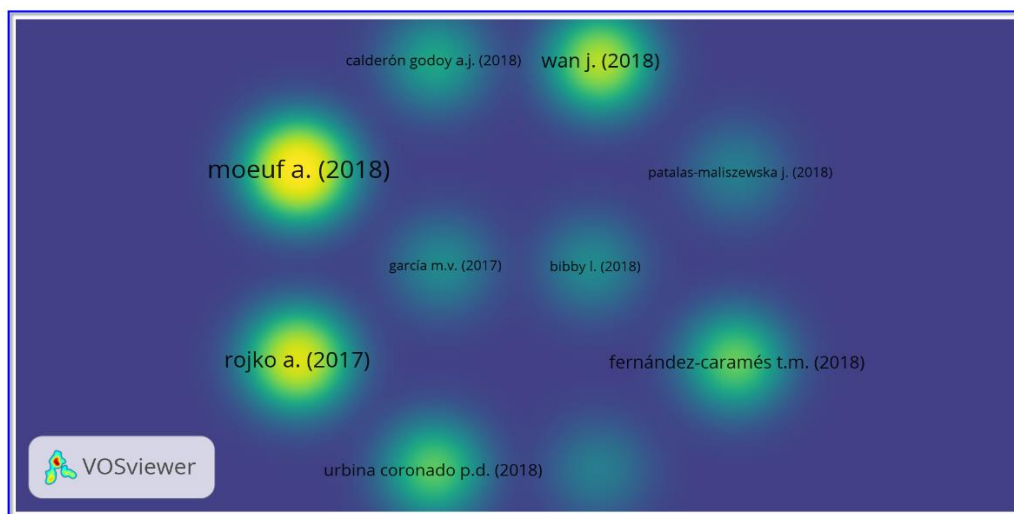


Figura 4 – Representação dos documentos mais citados por meio do ‘Mapa de Calor Vosviewer’.
 Fonte: elaborado pelos autores

Na publicação científica com o maior número de citações, Moeuf *et al.* (2018) propõem uma estrutura conceitual baseada em um ‘Framework & Revisão da Literatura’ cobrindo a integração das ‘tecnologias disruptivas da Indústria 4.0’ e ‘Sistemas Supervisores’ para pequenas e médias empresas. Os resultados, em sua maioria, limitam-se à integração das tecnologias relacionadas a ‘*Internet of Things*’ e ‘*Cloud Computing*’. Além disso, essas indústrias procuram apenas monitorar os processos industriais, havendo ausência de aplicações mais interativas dessas tecnologias disruptivas e sistemas de supervisão no campo do planejamento da produção. Os autores também ressaltam que a definição de novos modelos de negócios e os processos de implementação das iniciativas vinculadas à Indústria 4.0, com as tecnologias disruptivas e sistemas de supervisão precisam ser mais investigadas.

Em um modelo denominado “Arquitetura de Referência ‘RAMI 4.0’”, Rojko (2017) buscou avaliar a transformação da manufatura industrial 4.0 através da utilização de sistemas digitais, promovendo-se conectividade e supervisões virtuais, aplicadas a implementações individualizadas e personalizadas nos processos de produção fabril. Os resultados indicam que as tecnologias disruptivas mais utilizadas neste segmento referem-se ao ‘*Big Data*’, ‘*Cyber-Physical Systems*’, ‘*Internet of Things*’, e ‘*Systems Integration*’. No entanto, as aplicações incrementais de outras tecnologias disruptivas podem ser adotadas para cada projeto individualizado, ainda não existindo uma padronização definitiva ao setor de sistemas digitais de supervisão.

Urbina-Coronado *et al.* (2018), utilizando-se uma estrutura digitalizada para coleta de dados de chão-de-fábrica, denominada “Arquitetura de Sistemas de Protocolos MTCONNECT”, desenvolveram um sistema de supervisão de baixo custo para indústrias com classificação de pequeno e médio porte, fazendo-se uso de ‘tecnologias disruptivas, dispositivos Android e ferramentas de computação’. A combinação das tecnologias disruptivas (‘*Digital Manufacturing*’, ‘*Cyber-Physical Systems*’, ‘*Cloud Computing*’) foram essenciais na construção do sistema supervisor, resultando em uma ferramenta otimizadora de processos, eliminando-se erros de informações manuais, além de também permitir a digitalização e virtualização das atividades produtivas da indústria.

Bibby e Dehe (2018) desenvolveram um estudo com base em um ‘Modelo de Avaliação do Nível de Implementação das Tecnologias da Indústria 4.0’ aliado ao sistema supervisor, buscando-se medir o grau de maturidade de uma indústria de manufatura (empresa de grande porte do setor de defesa) em termos de inserção da mesma na Indústria 4.0. Dentre as três dimensões vinculadas à estrutura conceitual do modelo proposto (Fábrica do Futuro; Estratégia; Pessoas e Cultura), concluiu-se que a empresa testada se encontra em um nível de maturidade classificado no “setor 4”, com pontuação total de 59,35 (acima da média). Para os atributos vinculados ao sistema de supervisão, destacaram-se a integração e aplicação das tecnologias disruptivas (‘*Advanced Robotics*’, ‘*Big Data*’, ‘*Cloud Computing*’, ‘*Internet of Things*’, ‘*Cyber-Physical Systems*’), as quais foram favoráveis a pontuações mais elevadas do grau de maturidade, quando integradas ao sistema supervisor ‘*Manufacturing Execution Systems (MES)*’ da empresa avaliada.

Wan *et al.* (2018), por meio de uma arquitetura denominada ‘Tecnologias Cognitivas de Robótica em Nuvem CACR’, buscaram analisar a supervisão digital no contexto da Indústria 4.0 e a robótica industrial para veículos guiados automaticamente. Foram articulados mecanismos de tomada de decisão, localização e mapeamentos simultâneos habilitados para nuvem. As simulações indicaram a superioridade do uso da ‘*Internet of Things*’, no entanto, dependente das tecnologias disruptivas ‘*Cloud Computing*’ e ‘*Advanced Robotics*’ para a interação das atividades cognitivas, eficiência energética e economia de custos.

Por meio de um ‘Sistema de Supervisão & Rastreamento e Identificação por radiofrequência RFID’, Fernández-Caramés *et al.* (2018) apresentam um experimento que permite rastrear em tempo real, peças de navios durante os ciclos de produção em uma companhia fabricante de embarcações marítimas de grande porte. Buscaram também avaliar, a interação e a importância das tecnologias disruptivas da Indústria 4.0. Os resultados mostram que os cenários em tempo real são dependentes da interatividade entre as tecnologias (‘*Cyber-Physical Systems*’, ‘*Cloud Computing*’, ‘*Internet of Things*’). Além disso, os gateways embasados na computação em nuvem são responsáveis e essenciais para processarem mais amostras em situações de alta carga de produção, reagindo-se 481 vezes mais rápido quando comparado às abordagens convencionais de armazenamento e tratamento de dados.

Com base em um modelo estrutural, denominado ‘Arquitetura de Barramento de Campo PROFIBUS’, Calderón-Godoy *et al.* (2018) buscaram analisar no campo da ‘Indústria 4.0’ e ‘Sistemas Supervisores’, uma solução para aprimorar a conectividade de um sistema de manufatura flexível industrial. Os resultados da implementação experimental comprovaram a viabilidade da interação entre tecnologias de barramento PROFIBUS, junto à aplicabilidade conjunta das tecnologias disruptivas (‘*Systems Integration*’, ‘*Internet of Things*’, ‘*Cyber-Physical Systems*’), denotando-se, essenciais para a efetividade do gerenciamento de rede e a digitalização dos processos a níveis hierárquicos mais elevados para o sistema de manufatura industrial do chão-de-fábrica.

Tsuchiya *et al.* (2018) desenvolveram uma ‘Arquitetura Firewall Definida por Software para Sistemas de Fabricação Direcionada à Indústria 4.0’ com o propósito de prover proteções eficazes aos sistemas supervisores MES e suas respectivas conexões com redes de dados e tecnologias vinculadas ao ‘*Cloud Computing*’, ‘*Cyber-Physical Systems*’ e ‘*Internet of Things*’. Por conseguinte, os autores ressaltam que a necessidade de integração das tecnologias disruptivas aos sistemas supervisores MES é cada vez mais obrigatória, entretanto, as arquiteturas de segurança cibernética e arquiteturas de firewalls precisam ser segmentadas, a fim de minimizar os riscos de segurança ao sistema. Com isso, para que se tenha uma ampla proteção de todo o sistema de supervisão em conjunto com suas tecnologias disruptivas utilizadas, aplicações de filtros de camada de transportes de dados, além de filtragens temporais e filtragens espaciais, precisam ser segmentadas, estruturadas implementadas em todos os níveis dos processos que fazem parte da rede e tecnologias disruptivas envolvidas.

Conforme Garcia *et al.* (2017), o rápido avanço dos sistemas supervisores MES, aliado às tecnologias disruptivas da Indústria 4.0, tais como (‘*Big Data*’, ‘*Cyber-Physical Systems*’, ‘*Systems Integration*’) oferecem às empresas de petróleo e gás a chance de automatizar tarefas de alto custo, perigosas ou propensas a erros. Por essas razões, os autores ressaltam que automação de baixo custo pode promover arquiteturas de referência lucrativa e a eficiência das operações de produção de uma planta fabril. Diante ao exposto, desenvolveu-se uma plataforma de supervisão em tempo real, envolvendo a aplicação das tecnologias disruptivas (‘*Big Data*’, ‘*Cyber-Physical Systems*’, ‘*Systems Integration*’), sendo a mesma denominada de Arquitetura Aberta de Automação Flexível de Petróleo e Gás IEC-61499. Os resultados permitiram o acesso remoto às informações da planta fabril e a integração vertical foi alcançada, obtendo-se reduções de custos, a modularização dos processos e a supervisão virtualizada de todo o processo operacional.

4.3 Framework de análise cruzada

A fim de complementar os resultados da presente pesquisa, uma análise cruzada dos dados da literatura científica foi realizada, apresentando-se na Tabela 2, a correlação dos

(modelos conceituais e / ou abordagens metodológicas), o número de citações de cada publicação, a relação das tecnologias disruptivas, além da apresentação das respectivas autorias dessas publicações científicas.

Dentre as publicações mais citadas, destacaram-se os autores Moeuf *et al.* (2018); Rojko (2017); Urbina-Coronado *et al.* (2018); Bibby e Dehe (2018); Wan *et al.* (2018); Fernández-Caramés *et al.* (2018); Calderón-Godoy *et al.* (2018); Tsuchiya *et al.* (2018); Garcia *et al.* (2017), com suas respectivas quantidades de citações (294; 240; 96; 81; 65; 38; 22; 13; 12). No portfólio completo, o somatório total atingiu um número de 901 citações.

As tecnologias disruptivas mais abordadas nos modelos conceituais, referem-se a (*Internet of Things, Cyber-Physical Systems e Big data*), as quais, respectivamente atingiram um total de (27, 27, 22) ocorrências no conjunto total do portfólio de artigos estudados. As demais tecnologias disruptivas: (*Cloud Computing, Systems Integration, Advanced Robotics, Additive Manufacturing e Digital Manufacturing*) totalizaram respectivamente, os seguintes números de ocorrências (14, 10, 3, 1, 1).

No que se refere ao modelo mais abordado no acervo de artigos estudados, o mais representativo em termos numéricos, refere-se ao "Framework & Revisão Sistemática", apresentando uma quantidade de 7 pesquisas científicas direcionadas ao mesmo. Além disso, pôde-se averiguar que estas pesquisas retratam, em sua maioria, a abordagem concomitante em relação ao "*Big Data*", "*Cyber-Physical Systems*" e "*Internet of Things*", denotando-se a importância destas tecnologias disruptivas no segmento de sistemas supervisores em projetos direcionados à quarta revolução industrial. Os demais modelos encontram-se individualizados, não havendo repetições no portfólio de publicações do presente estudo científico.

Tabela 2 – Framework de análise cruzada

Nº de Citações por Publicação	[Modelos Conceituais] e / ou [Abordagens metodológicas de análise]	Tecnologias Disruptivas								Autores
		Additive Manufacturing	Advanced Robotics	Big Data	Cloud Computing	Cyber-Physical Systems (CPS)	Digital Manufacturing	Internet of Things (IoT)	Systems Integration	
294	"Framework & Revisão Sistemática"	-	-	-	X	-	-	X	-	Moeuf et al., (2018)
240	"Arquitetura de Referência "RAMI 4.0"	-	-	X	-	X	-	X	X	Rojko (2017)
96	"Arquitetura de Sistemas de Protocolos MTCONNECT"	-	-	-	X	X	X	-	-	Urbina-Coronado et al., (2018)
81	"Modelo de Avaliação do Nível de Implementação de Tecnologias da Indústria 4.0"	-	X	X	X	X	-	X	-	Bibby e Dehe (2018)
65	"Tecnologias Cognitivas de Robótica em Nuvem CACR"	-	X	-	X	-	-	X	-	Wan et al., (2018)
38	"Sistema de Supervisão & Rastreamento e Identificação por radiofrequência RFID"	-	-	-	X	X	-	X	-	Fernández-Caramés et al., (2018)
22	"Arquitetura de Barramento de Campo PROFIBUS"	X	X	X	-	X	-	X	-	Calderón-Godoy et al., (2018)
13	"Arquitetura Firewaal Definida por Software para Sistemas de Fabricação da Indústria 4.0"	-	-	-	X	X	-	X	-	Tsuchiya et al., (2018)
12	"Arquitetura Aberta de Automação Flexível De Petróleo e Gás IEC-61499"	-	-	X	-	X	-	-	X	García et al., (2017)
9	"Arquitetura em Nuvem para Compartilhamento de Recursos Contínuos e Tecnológicos da Indústria 4.0"	-	-	X	X	X	-	X	-	Kunst et al., (2019)
7	"Framework & Revisão Sistemática"	-	-	X	-	X	-	X	X	Tamas e Murar (2019)
5	"Arquitetura de Controle Cognitivo em Sistemas de Produção Ciber-Físicos Distribuídos - SAMBA"	-	-	X	X	X	-	X	-	Siafara et al., (2018)
3	"Arquitetura de Redes Tecnológicas e Digitais para Gerenciamento de Liminadores HAGEN"	-	-	X	X	X	-	X	-	Schneppe (2017)
3	"Arquitetura Estrutural de Processos de Fabricação Baseada em RFID da Nuvem em Sistemas MES"	-	-	-	X	X	-	X	-	Wang et al., (2018)
3	"Framework & Revisão Sistemática"	-	-	X	-	X	-	X	-	Schumacher (2018)
2	"Modelo de Avaliação da Eficácia da Aplicação MES"	-	-	X	-	X	-	X	-	Patalas e Skrzyszewska (2018)
2	Modelo Conceitual de Integração MES para o Setor 4.0	-	-	X	-	X	-	X	X	Kletti (2015b)
1	"Modelo de Decisão Por Meio da Integração entre (ERP e MES) em Ambiente de Indústria 4.0"	-	-	X	X	X	-	X	-	Tsai, Lan e Lee (2020)
1	"Framework & Revisão Sistemática"	-	-	X	-	X	-	X	-	Choi (2019)
1	Modelo Estrutural de Qualidade 4.0 em TI como Mecanismo de Integração de Tecnologias	-	-	-	X	X	-	X	X	Nyendick (2016)
1	"Modelo Conceitual de Arquitetura MES 4.0"	-	-	X	-	X	-	X	X	Kletti (2015a)
1	"Framework & Revisão Sistemática"	-	-	X	-	X	-	X	X	Kletti (2016a)
1	"Framework & Revisão Sistemática"	-	-	X	-	X	-	X	-	Kletti (2013)
0	"Modelo Conceitual MES para Sistemas a Vácuo com Base nas Tecnologias Disruptivas da Indústria 4.0"	-	-	X	-	X	-	X	-	Pick et al., (2018)
0	"Estrutura de Design do Setor 4.0 Orientado para Processos Futuros de Produção"	-	-	X	-	X	-	X	-	Theuer e Pahl (2016)
0	"Framework & Revisão Sistemática"	-	-	X	-	X	-	X	-	Lobo (2017)
0	"Modelo Estrutural de Quatro Estágios para Manufatura Inteligente & MES"	-	-	X	-	X	-	X	X	Kletti (2016b)
0	Modelo Estrutural de Sistemas de Execução de Fabricação e Integração Vertical de Processos Produtivos	-	-	X	X	X	-	X	X	Theuer (2018)
0	Arquitetura de Sistemas Supervisórios Gerenciais para Gestão e Otimização de Processos na Indústria 4.0	-	-	X	X	X	-	X	X	Kluth e Wochinger (2015)
901		1	3	22	14	27	1	27	10	
Total		Total								

Nota. Fonte: elaborado pelos autores

5 Conclusões

Com base na revisão da literatura científica, um conjunto de publicações foi obtido por meio de análises na base de dados Scopus. Este portfólio de publicações científicas pode contribuir com pesquisadores no direcionamento de pesquisas relacionadas a sistemas supervisores em projetos referentes à quarta revolução industrial, os quais apresentem relação com modelos e aplicações das tecnologias disruptivas.

Nas publicações relativas a ‘sistemas supervisores em projetos direcionados à quarta revolução industrial’, pôde-se atestar que o tema vem gerando interesse na literatura ao longo dos anos. Em termos de predominância e internacionalidade dos estudos relativos ao assunto, a “Alemanha, Espanha e China” são os países mais expressivos, representando um total de ‘vinte e um’ artigos em relação ao portfólio dos ‘vinte e nove’ documentos científicos validados e direcionados ao tema de estudo proposto.

No que diz respeito aos periódicos com maiores números de artigos publicados, destacaram-se o “Productivity Management” e o “ZWF Zeitschrift Fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb”, apresentando respectivamente oito e três publicações. Por outro lado, os demais periódicos obtiveram somente uma publicação cada.

A área que concentra a quantidade mais expressiva em termos de produção de artigos científicos sobre ‘sistemas supervisores em projetos direcionados à quarta revolução industrial’ é a “Engenharia” com 37%, seguida das áreas “Negócios, Gestão e Contabilidade” com 18% e “Ciência da Computação” com 15%, denotando-se a importância do tema em áreas interdisciplinares.

A análise de rede das citações por meio do uso do software ‘Vosviewer’, permitiu a orientação para a avaliação sistemática dos principais artigos científicos. Este conteúdo analisado pode contribuir com pesquisadores interessados na condução de novos estudos sobre ‘sistemas supervisores em projetos direcionados à quarta revolução industrial’, os quais se encontram relacionados a modelos que fazem aplicação das tecnologias disruptivas.

Na análise cruzada dos resultados, dentre as publicações mais citadas, pôde-se demonstrar os autores das pesquisas que mais se destacaram sobre o tema de estudo proposto. As tecnologias disruptivas mais abordadas nas pesquisas sobre ‘sistemas supervisores em projetos direcionados à quarta revolução industrial’, referem-se a (*Internet of Things, Cyber-Physical Systems e Big data*), que neste segmento são as mais aplicadas nos modelos existentes. Por outro lado, as tecnologias disruptivas menos abordadas neste segmento, relacionam-se a “*Additive Manufacturing e Digital Manufacturing*”.

Como limitação do presente estudo, enfatiza-se o uso de apenas uma base de dados de publicações científicas. A fim de superar essa limitação, sugere-se o desenvolvimento de novos estudos científicos em outras bases de dados.

Referências

- Bibby, L., & Dehe, B. (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels—case of the defence sector. *Production Planning and Control*, 29(12), 1030–1043.
- Calderón Godoy, A. J., & Pérez, I. G. (2018). Integration of sensor and actuator networks and the SCADA system to promote the migration of the legacy flexible manufacturing system towards the industry 4.0 concept. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 7(2), 23-44.

- Carvalho, M.M., Fleury, A., & Lopes, A. P. (2013). An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): contributions and trends. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(7), 1418–1437.
- Cheng, G. J., Liu, L., & Qiang, Z. (2016). Industry 4.0: development and application of intelligent manufacturing. *Information System and Artificial Intelligent*, 7(4), 407–410.
- Choi, Y.-H. (2019). Comparative study of crossing the chasm in applying smart factory system for SMEs. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(8), 1017–1024.
- Drath, R., & Horch, A. (2014). Industry 4.0: Hit or Hype? *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), 56–58.
- Eck, N. J., & Waltman, L. (2015) *VOSviewer Manual*. Recuperado em 30 setembro, 2019, de http://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.1.pdf.
- Favareto, F. (2001). *Uma contribuição ao processo de gestão da produção pelo uso da coleta automática de dados de chão de fábrica*. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.
- Fernández-Caramés, T. M., Fraga-Lamas, P., Suárez-Albela, M., & Díaz-Bouza, M. A. (2018). A fog computing based cyber-physical system for the automation of pipe-related tasks in the industry 4.0 shipyard. *Sensors (Switzerland)*, 18(6).
- García, M. V, Irisarri, E., Pérez, F., Estévez, E., & Marcos, M. (2017). An Open CPPS Automation Architecture based on IEC-61499 over OPC-UA for flexible manufacturing in Oil&Gas Industry. *IFAC-Papers OnLine*, 50(1), 1231–1238.
- Kletti, J. (2013). The future of MES: MES supports 4.0 Industry 4.0. *Productivity Management*, 18(2), 17–20.
- Kletti, J. (2015a). Integrated Industry: MES enables decentralisation. *Productivity Management*, 20(2), 15–17.
- Kletti, J. (2015b). MES 4.0 – but do it the right way! *Productivity Management*, 20(4), 53–56.
- Kletti, J. (2016a). Industry 4.0 disarmed – Smart factory in four steps. *Productivity Management*, 21(2), 13–15.
- Kletti, J. (2016b). Reactive factory – Step 2 on the way to „Smart Factory“. *Productivity Management*, 21(4), 37–39.
- Kluth, A., & Wochinger, T. (2015). MES as management information system for supporting knowledge management and the optimization of business processes. *ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 110(5), 307–310.
- Kunst, R., Avila, L., Binotto, A., Pignaton, E., Bampi, S., & Rochol, J. (2019). Improving devices communication in Industry 4.0 wireless networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 83, 1–12.
- Lobo, F. A. (2017). Are production systems ready for industry 4.0? *ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 112(1–2), 94–97.

- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1118–1136.
- Moraes, C., & Castrucci, P. L. (2007). *Engenharia de automação industrial*. São Paulo: Editora LTC.
- Nyendick, M. (2016). Quality 4.0 - IT backbone for a production-integrated quality engine. *ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 111(4), 167–168.
- Patalas-Maliszewska, J., & Skrzyszewska, M. (2018). An Evaluation of the Effectiveness of Applying the Mes in a Maintenance Department - A Case Study. *Foundations of Management*, 10(1), 257–270.
- Pick, M., Kleßen, M., & Bergner, U. (2018). Industrie 4.0: Herausforderungen für den Vakuumanlagenbau. *Vakuum in Forschung Und Praxis*, 30(6), 18–23.
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 11, 77–90.
- Saézn, T. W., & Capote, E. G. (2002). *Ciência, Inovação e Gestão Tecnológica* (1st ed.). Brasília: CNIEL/SENAI/ABIPTI.
- Santos, B. P., Silva, L. A., Celes, C. S., Borges, J. B., Peres, B. S., Vieira, M. M., & Loureiro, A. A. (2016). *Internet das Coisas: da Teoria à Prática* (1a ed.). São Paulo: Editora SBRC.
- Schneppe, U. (2017). Technological and digital networks for management of hot rolling mill in Hagen. *Chernye Metally*, (9), 53–57.
- Schumacher, J. (2018). Knowledge is power – what get in the way of digitalisation. *Productivity Management*, 23(1), 16–18.
- Siafara, L. C., Kholerdi, H., Bratukhin, A., Taherinejad, N., & Jantsch, A. (2018). SAMBA – an architecture for adaptive cognitive control of distributed Cyber-Physical Production Systems based on its self-awareness. *Elektrotechnik Und Informationstechnik*, 135(3), 270–277.
- Tamas, L., & Murar, M. (2019). Smart CPS: vertical integration overview and user story with a cobot. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(4–5), 504–521.
- Tasca, J. E., Ensslin, L., Ensslin, S. R., & Alves, M. B. M. (2010). An approach for selecting a theoretical framework for the evaluation of training programs. *Journal of European Industrial Training*, 34(7), 631–655.
- Theuer, H. (2018). MES – Industry 4.0-ready. *Productivity Management*, 23(2), 45–63.
- Theuer, H., & Pahl, M. (2016). MES – Industry 4.0-Ready. *Productivity Management*, 21(2), 49–55.
- Tsai, W. H., Lan, S. H., & Lee, H. L. (2020). Applying ERP and MES to Implement the IFRS 8 Operating Segments: A Steel Group's Activity-Based Standard Costing Production Decision Model. *Sustainability*, 12(10), 4303.
- Tsuchiya, A., Fraile, F., Koshijima, I., Órtiz, A., & Poler, R. (2018). Software defined networking firewall for industry 4.0 manufacturing systems. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 11(2), 318–333.

- Urbina Coronado, P. D., Lynn, R., Louhichi, W., Parto, M., Wescoat, E., & Kurfess, T. (2018). Part data integration in the Shop Floor Digital Twin: Mobile and cloud technologies to enable a manufacturing execution system. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 25–33.
- Vianna, W. D. S., Bringhenti, P. M., & Martins, L. D. S. (2008). *Sistemas SCADA Supervisório*. (1a ed.). Campos dos Goytacazes. Rio de Janeiro: Editora Ciência e Tecnologia IFF.
- Vianna, W. D. S. (2008). *Controlador Lógico Programável* (1a ed.). Campos dos Goytacazes. Rio de Janeiro: Editora Ciência e Tecnologia IFF.
- Wan, J., Tang, S., Hua, Q., Li, D., Liu, C., & Lloret, J. (2018). Context-aware cloud robotics for material handling in cognitive industrial Internet of Things. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(4), 2272–2281.
- Wang, C., Chen, X., Soliman, A. A., & Zhu, Z. (2018). RFID Based manufacturing process of cloud MES. *Computer Networks*, 103(11), 251-262.
- Zakir, J.; Seymour, T., & Berg, K. (2015). Big data analytics. *Issues In Information Systems*, 16(2), 81–90.