

INDÚSTRIA 4.0 NO CONTEXTO DAS PEQUENAS E MÉDIAS EMPRESAS

TENG HSIANG HUI

UNIVERSIDADE PAULISTA (UNIP)

MARCIO CARDOSO MACHADO

UNIVERSIDADE PAULISTA (UNIP)

FERNANDO GROBMAN

UNIVERSIDADE PAULISTA (UNIP)

INDÚSTRIA 4.0 NO CONTEXTO DAS PEQUENAS E MÉDIAS EMPRESAS

1. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0, que simboliza o início da quarta revolução industrial, teve seu conceito introduzido na feira de Hannover em 2011 e anunciado em 2013 pelo governo alemão como uma iniciativa estratégica para impulsionar a transformação digital (HECKLAU et al., 2016; QIN; LIU; GROSVENOR, 2016; LI, 2018) e tem como base os *Cyber Physical Systems (CPS)* ou sistemas ciberfísicos (QIN; LIU; GROSVENOR, 2016; KIM, 2017). A Indústria 4.0 envolve a integração de CPS com o uso da Internet das Coisas (IoT) nos processos industriais, causa implicações para a criação de valor, modelos de negócios, serviços de fluxo e organização do trabalho (KAGERMANN, HENNING; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Apesar de ser recente, portanto, um conceito ainda em construção, estudos na área da Indústria 4.0 têm crescido muito nos últimos anos (MUHURI; SHUKLA; ABRAHAM, 2019). Essas pesquisas apontam para estudos na área de tecnologias-chaves, conceitos da Indústria 4.0, CPS, modelos de maturidade, modelos de negócios, aplicações de tecnologias específicas em processos e cadeias de valor, revisões bibliométricas e sistemáticas da literatura, além de estudos sobre as implicações da Indústria 4.0 para as Pequenas e Médias Empresas (PME) (LU, 2017; MITTAL et al., 2018; QUEIROZ; TELLES, 2018; SAFAR et al., 2018).

Reconhecidas como a base para maioria das indústrias e países, as Pequenas e Médias Empresas (PME), possuem modelos de negócios que dependem da sua flexibilidade e rapidez de resposta, no atendimento dos anseios dos clientes a fim de manter-se competitivas (LI et al., 2016). A Indústria 4.0 tem ajudado nesse processo da manutenção da competitividade, porque está mudando os paradigmas de gerenciamento das PME, flexibilizando o acesso aos sistemas de informação. Esse processo é apoiado por algumas das tecnologias da Indústria 4.0, por exemplo a computação na nuvem e internet das coisas (MOEUF et al., 2018). No entanto, poucos estudos são voltados para apoiar as PME em direção da adoção da Indústria 4.0 (MITTAL et al., 2018). Mesmo reconhecendo o aumento de sistemas de informação pelas PMEs, para ISSA; LUCKE; BAUERNHANSL (2017), as barreiras para as PME embarcarem na Indústria 4.0 no Brasil ainda são altas, mesmo correspondendo 90% das empresas e 60% da arrecadação fiscal e geração de empregos e renda no Brasil (PEREIRA, 2017). As PMEs são a espinha dorsal da economia, porém enfrentam altas barreiras de entrada em relação a Indústria 4.0. Entre essas dificuldades encontram-se a identificação de parceiros para desenvolvimento de pesquisas e a falta de conhecimento administrativo para obter recursos, tornando recomendáveis a busca por orientações para estratégias de implementação de Indústria 4.0 (ISSA; LUCKE; BAUERNHANSL, 2017; SAFAR et al., 2018).

A partir desses argumentos, foi elaborada a seguinte questão de pesquisa:

QP - Quais são as tecnologias da Indústria 4.0 primordiais para entrada de PMEs na quarta revolução industrial?

Com o objetivo de responder essa questão de pesquisa, foi realizada uma revisão da literatura para a identificação das principais tecnologias associadas à Indústria 4.0. A partir dos resultados obtidos, foram listadas as tecnologias mais estudadas e citadas e, em uma segunda etapa, com base na lista de tecnologias identificadas, buscou-se mapear quais delas são pertinentes para PMEs acompanharem a quarta revolução industrial.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Antecedentes a Indústria 4.0

O termo revolução industrial refere-se à mudança dos sistemas tecnológico, econômico e social na indústria e que, por consequência altera as condições e modos do trabalho, as condições de vida e de saúde econômica (DOMBROWSKI; WAGNER, 2014). Sob ótica tecnológica, identificam-se quatro estágios dessa revolução (KAGERMANN,HENNING; WAHLSTER; HELBIG, 2013). O primeiro iniciado em 1780 com surgimento do tear mecânico e uso do vapor na mecanização. O segundo, cem anos depois, chegou ao seu ápice com linha de produção em massa do modelo T da Ford, nos Estados Unidos, caracterizado pelo grande aumento na produtividade, divisão de trabalho e introdução da energia elétrica. O terceiro com surgimento do controlador lógico programável (CLP), em 1969, levando à automação e disseminação digital (DRATH; HORCH, 2014; LASI, 2014; LI, 2018; XU; LI, 2018). O quarto, conhecido como Indústria 4.0, trazendo oportunidades significativas de desenvolvimento de serviços B2B (empresa à empresa). Mais especificamente para as Pequenas e Médias Empresas (PME) a Indústria 4.0 pode trazer também oportunidades por meio da *Internet of Things (IoT)*, ou internet das coisas (KAGERMANN,HENNING; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Não há um consenso quanto a definição sobre o termo Indústria 4.0 e seu significado dentro da academia (MÜLLER; BULIGA; VOIGT, 2018). Segundo (IVANOV et al., 2016) a Indústria 4.0 representa um conceito de rede de manufatura inteligente onde máquinas e produtos interagem uns com os outros sem controle humano. A convergência da produção industrial e das tecnologias de informação e comunicação, é denominada Indústria 4.0 segundo, e possui como característica fundamental a produção baseada em Sistemas Ciberfísicos ou *Cyber-physical System (CPS)* (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016). Já para (VOGEL-HEUSER; HESS, 2016) a Indústria 4.0 derivada do termo alemão *Industrie 4.0*, é usada como sinônimo de Sistemas de Produção Ciberfísica ou *Cyber-physical Production System (CPPS)*, ou seja, Sistemas Ciberfísicos aplicados no domínio da fabricação. Conforme (KAGERMANN,HENNING; WAHLSTER; HELBIG, 2013), a Indústria 4.0 envolverá a integração técnica do CPS na fabricação e logística, bem como, o uso da Internet das Coisas e Serviços nos processos industriais, e isso terá implicações para a criação de valor, modelos de negócio, serviços e organização do trabalho.

A definição do CPS de acordo com LASI (2014) é: a fusão dos níveis físico e digital. Como essa fusão abrange tanto a produção quanto os produtos, surgem sistemas cuja representação física e digital não podem mais ser diferenciadas. Como exemplo citamos a área de manutenção preventiva: os parâmetros do processo (carga, tempo produtivo, etc.) dos componentes mecânicos subjacentes a um desgaste físico são registrados digitalmente. A condição real do sistema resulta do objeto físico e de seus parâmetros de processo digital. O CPS atua com base em dados heterogêneos e integração de conhecimento, propiciando o cumprimento dos requisitos dinâmicos de produção e a melhoria da eficácia e eficiência de toda a indústria. Sob contexto do CPS, a Indústria 4.0 engloba inúmeras tecnologias e paradigmas associados, de acordo com (MOTYL et al., 2017; SAUCEDO-MARTÍNEZ et al., 2018; VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018) há nove tecnologias essenciais dentro do conceito da Indústria 4.0. Essas nove tecnologias são: *Internet of Things, Cloud Computing, Big Data and Analytics, Simulation, Augmented Reality, Additive Manufacturing, System Integration, Autonomous Robots* e *Cybersecurity*.

2.2 Internet of Things (IoT)

A Internet das Coisas ou *Internet of Things (IoT)* significa uma rede mundial de objetos endereçados, interconectados e uniformes que se comunicam através de protocolos padrão (HOZDIĆ, 2016). A Internet das Coisas (IoT) também deve ser conhecida como Internet de Tudo (IoE), que consiste em Internet de Serviço (IoS), Internet de Serviços de Manufatura (IoMs),

Internet de Pessoas (IoP), um sistema embarcado e tecnologia de Integração de Informação e Comunicação (IICT) (NEUGEBAUER et al., 2016). Para (SEZER; DOGDU; OZBAYOGLU, 2018), IoT conecta pessoas às coisas em qualquer lugar, a qualquer hora com qualquer um, sendo ideal para uso em rede de serviços. Essa comunicação gera uma quantidade enorme de dados que precisam ser armazenados, processados e apresentados de forma transparente, eficiente e com interpretação fácil (GUBBI; BUYYA; MARUSIC, 2013). IoT está transformando processos de negócios, fornecendo e em tempo real informações sobre fluxo de materiais e produtos, de forma precisa. Os investimentos na IoT reprojeta fluxos de trabalho de fábrica, melhoram o rastreamento de materiais e otimizam os custos de distribuição (LEE; LEE, 2015). Um exemplo é o uso de sensores com *Radio Frequency Identification* (RFID) para rastreamento do produto do início ao fim da cadeia produtiva.

2.3 Cloud Computing

Cloud Computing ou Computação na Nuvem, é um termo geral para qualquer coisa que envolva a entrega de serviços hospedados pela internet (ATTARAN; WOODS, 2018). Para PME, de acordo com (ASSANTE et al., 2016) é um conjunto de recursos e serviços rápidos e elásticos, com autoatendimento sob demanda. Possui amplo acesso à rede e apresenta vantagens como redução de custos diretos e indiretos da infraestrutura de TI, além da portabilidade ao permitir usar qualquer tipo de dispositivo conectado à Internet, como telefones celulares ou tablets, acessando de qualquer local do mundo (BRANCO; DE SÁ-SOARES; RIVERO, 2017). A computação na nuvem fornece uma solução de retaguarda ideal para lidar com enormes fluxos de dados e processá-los para o número sem precedentes de comunicação entre dispositivos IoT e humanos em tempo real (LEE; LEE, 2015). Dessa forma, a computação na nuvem vem se apresentando como a oportunidade da democratização de acesso por parte das PMEs. Um dos exemplos mais comuns da *Cloud Computing* são os serviços de armazenamento de dados virtuais, acessados de qualquer lugar que possua conexão de internet.

2.4 Big Data and Analytics

Dentro do ambiente CPS, dados são gerados constantemente em tempo real. Essa massa de dados gerados de diferentes tipos vem de objetos heterogêneos interconectados. Esses dados estruturados, semi-estruturados e não estruturados compõem a massa chamado de *Big Data* (BORTOLINI et al., 2017). A *Analytics* ou análise de dados gerados e gravados no *Big Data* é usada para identificar as não conformidades ocorridas em diferentes processos de produção e também para previsão de novos problemas e impedir que se repitam (BAGHERI et al., 2015). A análise de big data ou *Big Data and Analytics*, é definido como tecnologias (por exemplo, ferramentas de banco de dados e mineração de dados) e técnicas (por exemplo, métodos analíticos) que uma empresa pode empregar para analisar dados complexos em grande escala para várias aplicações pretendidas para aumentar o desempenho da empresa em várias dimensões (KWON; LEE; SHIN, 2014). Por intermédio da análise de big data, a empresa tem a possibilidade de monitorar e melhorar a aceitação dos seus produtos no mercado, aumentando suas vantagens competitivas (KWON; LEE; SHIN, 2014).

2.5 Simulation

Simulation ou Simulação é usada nas operações da fábrica para alavancar dados em tempo real para espelhar o mundo real em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e seres humanos, reduzindo assim os tempos de configuração da máquina e aumentando a qualidade. A simulação permite experimentos para a validação de produtos, processos ou design de sistemas e sua configuração (MOURTZIS; DOUKAS; BERNIDAKI, 2014). O modelo de simulação e posterior análise constiuem o processo de criação e experimentação via modelo matemático computadorizado de um sistema físico e é a imitação da operação de um processo ou sistema do

mundo real ao longo do tempo. A simulação envolve a geração de uma história artificial do sistema e a observação dessa história artificial para extrair inferências sobre o funcionamento e as características do sistema real representado (MOURTZIS; DOUKAS; BERNIDAKI, 2014). A modelagem na simulação ajuda na redução de custos, diminui os ciclos de desenvolvimento e aumenta a qualidade do produto (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019; RODIČ, 2017; VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018).

2.6 *Augmented Reality (AR)*

A tecnologia de *Augmented Reality* ou Realidade Aumentada (AR) amplia a percepção do operador sobre a realidade, fazendo uso de informações artificiais sobre o meio ambiente, onde o mundo real é preenchido por um objeto virtual. Os sistemas baseados em AR suportam uma variedade de serviços, como a seleção de peças em um armazém e enviando instruções de reparo em dispositivos móveis (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018). Realidade aumentada (AR) é definida como uma visão direta ou indireta, em tempo real, do ambiente físico do mundo real que foi aprimorado e aumentado pela adição de informações virtuais geradas por computador. Os sistemas de AR visam melhorar a maneira como o usuário percebe e interage com o mundo real (MOURTZIS; DOUKAS; BERNIDAKI, 2014). A indústria pode usar a realidade aumentada para fornecer aos funcionários informações em tempo real para melhorar a tomada de decisões e os procedimentos de trabalho (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). Para (SYBERFELDT et al., 2015) os recursos do sistema AR são: 1) a capacidade de combinar objetos reais e virtuais em um ambiente real, 2) a capacidade de alinhar os objetos reais e virtuais e 3) a capacidade de executar interativamente, em 3D e em tempo real.

2.7 *Additive Manufacturing (AM)*

Os métodos de *Additive Manufacturing* ou Manufatura Aditiva permitem produzir pequenos lotes de produtos que oferecem vantagens de construção, como designs complexos e leves. Sistemas de manufatura aditiva descentralizada e de alto desempenho reduzem as distâncias de transporte e o estoque disponível (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018). A produção deve ser mais rápida e barata com o uso de tecnologias como o método de deposição por fusão (FDM), a fusão seletiva a laser (SLM) e a sinterização seletiva a laser (SLS) (LANDHERR; SCHNEIDER; BAUERNHANSL, 2016). As tecnologias AM podem ser referidas também como prototipagem rápida, fabricação de forma livre sólida, fabricação de camadas, manufatura digital ou impressão 3D (CHONG; RAMAKRISHNA; SINGH, 2018).

2.8 *System Integration*

System Integration ou integração de sistemas pode ser dividido em integração horizontal e vertical. A horizontal é a integração entre empresas ou inter-empresarial e constitui-se na base para uma colaboração mais próxima e de alto nível entre as mesmas, usando sistemas de informação, criando um ecossistema interconectado dentro da mesma rede de criação de valor. A integração vertical é um sistema de fabricação em rede intra-empresarial e é a base para a troca de informação e colaboração entre os diferentes níveis hierárquicos da empresa. A integração vertical "digitaliza" todo o processo ao longo da organização.(ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019; FELDERER et al., 2016; TUPA; SIMOTA; STEINER, 2017). Neste caso, o compartilhamento de dados em tempo real é possibilitado por esses dois tipos de integração (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).

2.9 *Autonomous Robots*

Os robôs estão se tornando mais autônomos, flexíveis, cooperativos e podem interagir um com o outro, bem como, com seres humanos, trabalhando lado a lado. *Autonomous Robots* ou robô autônomo é usado para executar o método de produção com mais precisão e trabalhar nos locais

onde os trabalhadores humanos possuem restrições de acesso. Os robôs autônomos completam tarefas de forma precisa e inteligente, dentro do prazo determinado e também se concentram em segurança, flexibilidade, versatilidade e colaboração (BAHRIN et al., 2016; VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018). Habilidades em computação, comunicação, controle, autonomia e sociabilidade são termos alcançados quando se combina microprocessadores e Inteligência Artificial (IA) com produtos, serviços e máquinas para torná-los mais inteligentes (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). Robôs com inteligência artificial, adaptáveis e flexíveis, podem facilitar a fabricação de diferentes produtos e, conseqüentemente, reduzir os custos de produção. Robôs autônomos tomam decisões sem a interferência dos humanos, podendo ser vistos como uma forma de inteligência artificial (SALKIN et al., 2017; WU; LIU; WU, 2018).

2.10 Cybersecurity (CS)

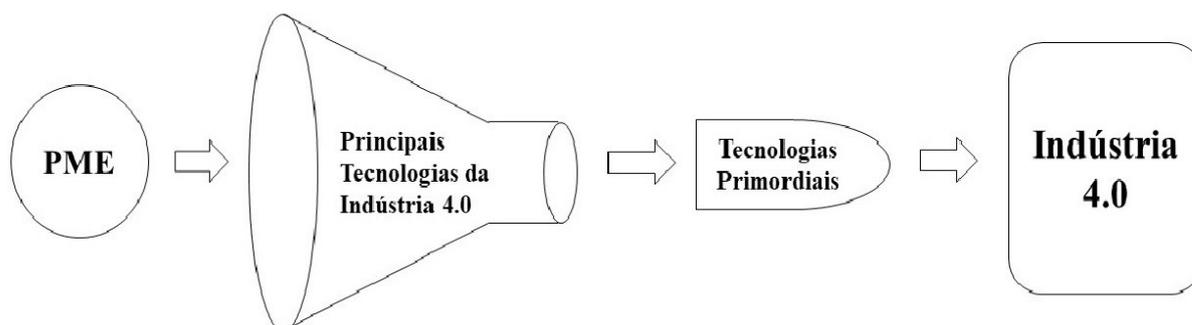
Segundo KANNUS; ILVONEN (2018), *Cybersecurity (CS)* ou cibersegurança é uma nova terminologia relacionada com o alto nível de segurança da informação. Esse alto nível de segurança é demandado pela crescente imersão do aparelho produtivo em hiperconectividade na internet, com a conseqüente vulnerabilidade. A CS é uma tecnologia que protege, detecta e responde a ataques (PIEDRAHITA et al., 2018). Cibersegurança é a coleção de ferramentas, políticas, conceitos de segurança, proteções de segurança, diretrizes, abordagens de gerenciamento de risco, ações, treinamento, melhores práticas, segurança e tecnologias que podem ser usadas para proteger o ambiente cibernético e a organização e os ativos do usuário (VON SOLMS; VAN NIEKERK, 2013).

Baseado nessa revisão da literatura sobre as nove tecnologias essenciais dentro do conceito da Indústria 4.0, é possível elaborar a Proposição 1:

P1 - Existem tecnologias associadas a Indústria 4.0 que auxiliam a das PMEs no ambiente da indústria 4.0.

Ou seja, diante das tecnologias existentes associadas à Indústria 4.0 as PMEs devem identificar quais as tecnologias são primordiais para a sua atividade, de forma a conduzi-las rumo a Indústria 4.0. A figura 1 representa graficamente essa proposição.

Figura 1: Framework de acesso das PMEs à Indústria 4.0



Fonte: Autor, 2019

Segundo (SAFAR et al., 2018), a dificuldade na obtenção de recursos pelas PMEs é uma realidade na adoção de tecnologias para entrada na Indústria 4.0. Novas tecnologias podem incorrer em custos, muitas vezes acima daqueles suportados pelas PMEs. Esses custos, segundo o conceito da Teoria de Custos de Transação (TCT) (FREEMAN; WILLIAMSON, 2006) são conseqüências de eventos institucionais, como o desenvolvimento tecnológico, as estruturas de mercado, assim como as normas e legislações em vigor. A capacidade de uma empresa de lidar

com esses eventos institucionais é inversamente proporcional a seus custos de transação. Quer dizer, quanto maior for essa capacidade, menores serão os seus custos de transação (MARINS, 2009). Para TCT, a preocupação é minimizar os custos de transação, entendendo a transação como a transferência de um bem ou a realização de um serviço (FREEMAN; WILLIAMSON, 2006). Para potencializar os recursos disponíveis e seguindo esses argumentos do TCT, podemos sugerir a Proposição 2:

P2 - As tecnologias adotadas pelas PMEs para entrada à Indústria 4.0 devem ter baixo custo de transação.

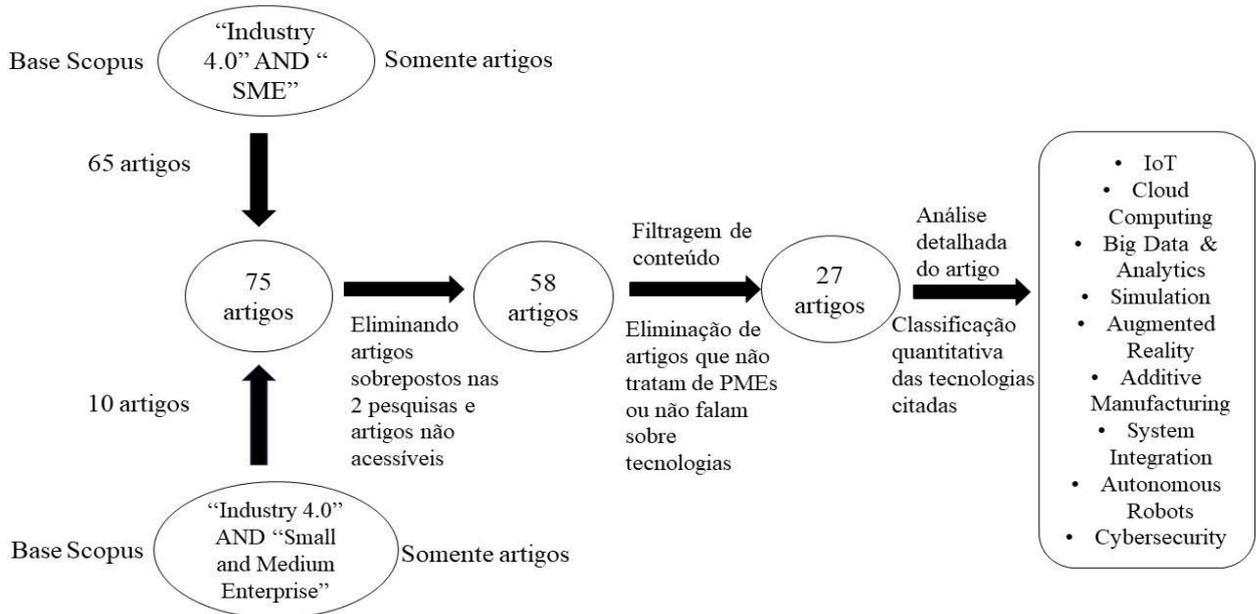
3. METODOLOGIA

Esta pesquisa é um estudo teórico sobre as tecnologias da Indústria 4.0 e sobre a identificação de quais dessas tecnologias são pertinentes para entrada das PMEs na quarta revolução industrial. A elaboração de construções teóricas tem sido fundamental para as pesquisas no campo organizacional (EISENHARDT, 1989). Em estudos teóricos, a apresentação de uma nova posição teórica a discussão de uma estrutura fundamental de uma teoria existente, forçam o autor a pensar sobre as aplicações concretas de um pensamento novo ou revisado e aumentam a probabilidade de que pesquisas subsequentes venham a constituir testes válidos sobre os principais argumentos do autor. (WHETTEN, 2003).

De acordo com (MAANEN, 2012), a elaboração de proposições teóricas possui dois principais atributos: primeiramente, utilizar a mesma terminologia que é usada ao longo do artigo, retratando a orientação esperada (positiva ou negativa) de relacionamentos relevantes; e em segundo lugar, os argumentos lógicos devem ser usados para a composição das mesmas. Dessa forma, a função de um artigo de desenvolvimento de teoria é estimular e estender o conhecimento existente (WHETTEN, 2003). Partindo dessas considerações, o presente estudo desenvolveu duas proposições baseadas na teoria, (P1) relativa às tecnologias primordiais para entrada das PMEs na Indústria 4.0 e outra (P2) sobre quais tecnologias primordiais possuem custos baixos de transação no contexto das PMEs. O método do estudo é descrito a seguir e apresentado na Figura 2.

Partindo da base Scopus, para identificar as principais tecnologias da Indústria 4.0 associadas às PMEs, duas pesquisas foram feitas, considerando somente artigos. Uma utilizando as palavras-chave “*Industry 4.0*” AND “*SME*” chegando a 65 artigos. Outra, utilizando as palavras-chave “*Industry 4.0*” AND “*Small and Medium Enterprise*”, que resultou em 10 artigos, gerando um total de 75 artigos. O passo seguinte foi a eliminação de artigos repetidos, além de artigos não acessíveis, reduzindo a quantidade de artigos para 58. A partir desse número, uma análise dos resumos possibilitou filtrar artigos onde o tema PMEs ou as 9 tecnologias da Indústria 4.0 (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018) não eram abordado. Após essa filtragem, restaram 27 artigos que abordam tanto as tecnologias da Indústria 4.0 quanto o tema das PMEs. A partir deste ponto, uma leitura detalhada foi feita para classificar quantitativamente as tecnologias que são citadas em cada artigo, registrados na Tabela 1.

Figura 2: Processo do estudo teórico para qualificação das tecnologias.



Fonte: Autor, 2019

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo teórico foi feito por meio de uma pesquisa na base Scopus, no dia 19/06/2019, utilizando a metodologia mostrada na Figura 2. Para a montagem da Tabela 1, a partir da análise dos 27 artigos restantes, foi realizado o somatório das quantidades de citações das tecnologias em cada um dos 27 artigos.

Temos como as 3 tecnologias mais citadas nos artigos em ordem decrescente: *IoT*, *Big Data & Analytics* e por último *Cloud Computing*. Portanto para uma PME, respondendo à pergunta: *Quais são as tecnologias da Indústria 4.0 primordiais para entrada de PMEs na quarta revolução industrial?* Podemos deduzir que essas são as tecnologias primordiais que uma PME deve focar seus recursos para adentrar à quarta revolução industrial. Nos resultados, aparece em segundo lugar CPS, porém não foi considerado por ser um conceito base. CPS são sistemas naturais e feitos por humanos, chamados de espaços físicos, são integrados com sistemas de computação, comunicação e controle, chamados de ciber-espaços (BAGHERI et al., 2015). A citação frequente da CPS comprova essa integração, inclusive nas tecnologias citadas, compostas por tecnologias das áreas físicas, como a Manufatura Aditiva e Robôs Autônomos, assim como também das áreas virtuais ou cibernéticas, como, Computação na Nuvem, Realidade Aumentada e Simulação.

Observando os resultados da Figura 3, podemos verificar que as 3 tecnologias mais citadas, *IoT*, *Big Data & Analytics* e *Cloud Computing*, elas pertencem a área *cyber* ou virtual. No início da era da globalização e da internet, as empresas tinham que ser proprietárias do hardware e do software, além de ter de investir e manter uma estrutura na área de tecnologia de informação, incluindo recursos humanos, para acesso a essas tecnologias, o que tornava estes custos muito altos e com fator custo benefício ruim. Com o avanço da tecnologia e popularização da internet, não somente os preços tiveram queda significativa como também mudou a forma de utilização, ao invés de possuir o sistema e o software, o pequeno empresário pode pagar por uso, com um custo muito menor e ter acesso a essas ferramentas, porque esses serviços são encontrados com

facilidade através de terceiros. Essa terceirização também diminui a demanda por pessoas altamente qualificadas para implementação da tecnologia, sendo necessário apenas treinamentos a nível de usuários, exigindo menos capital e tempo. Dentro do contexto da TCT, os custos de transação diminuíram. Como exemplo da *Cloud Computing*, o bom custo-benefício ajuda o pequeno empresário a ter acesso a informações necessárias onde tiver acesso à internet, trazendo mais oportunidades e melhorando a sua eficiência (ASSANTE et al., 2016). Como as PMEs possuem várias dificuldades para entrada no mundo da indústria 4.0, sendo uma delas a limitação e falta de acesso a recursos (ISSA; LUCKE; BAUERNHANSL, 2017; SAFAR et al., 2018), a concentração dos estudos na área *cyber*, coincide com o movimento da terceirização, queda de preços e popularização desses serviços, antes acessíveis apenas para grandes corporações. Além do mais, a flexibilidade e rapidez de atendimento características às PMEs (LI et al., 2016), também estão presentes nessas 3 tecnologias, uma vez que as informações fornecidas e processadas por essas tecnologias são imediatas, acessadas de qualquer lugar com acesso à internet, e, por isso, justifica-se a descoberta dessas como as mais citadas nos estudos analisados. Podemos também perceber que as tecnologias menos citadas e estudadas, associadas às PMEs, são as que possuem os maiores custos, ou seja, maiores barreiras de entrada em termos econômicos, ou em termos da TCT, maiores custos de transação, geralmente pertencentes a área *physical* da CPS como *Additive Manufacturing* e *System Integration*. Essas tecnologias ainda não possuem possibilidade de terceirização a baixo custo e ainda demandam conhecimentos específicos, mesmo internalizando a tecnologia, além de serem mais complexas, exigindo maior tempo para sua implementação, o que elevam os custos de transação, de investimento e de manutenção a longo prazo.

Tabela 1: Classificação Quantitativa das Tecnologias

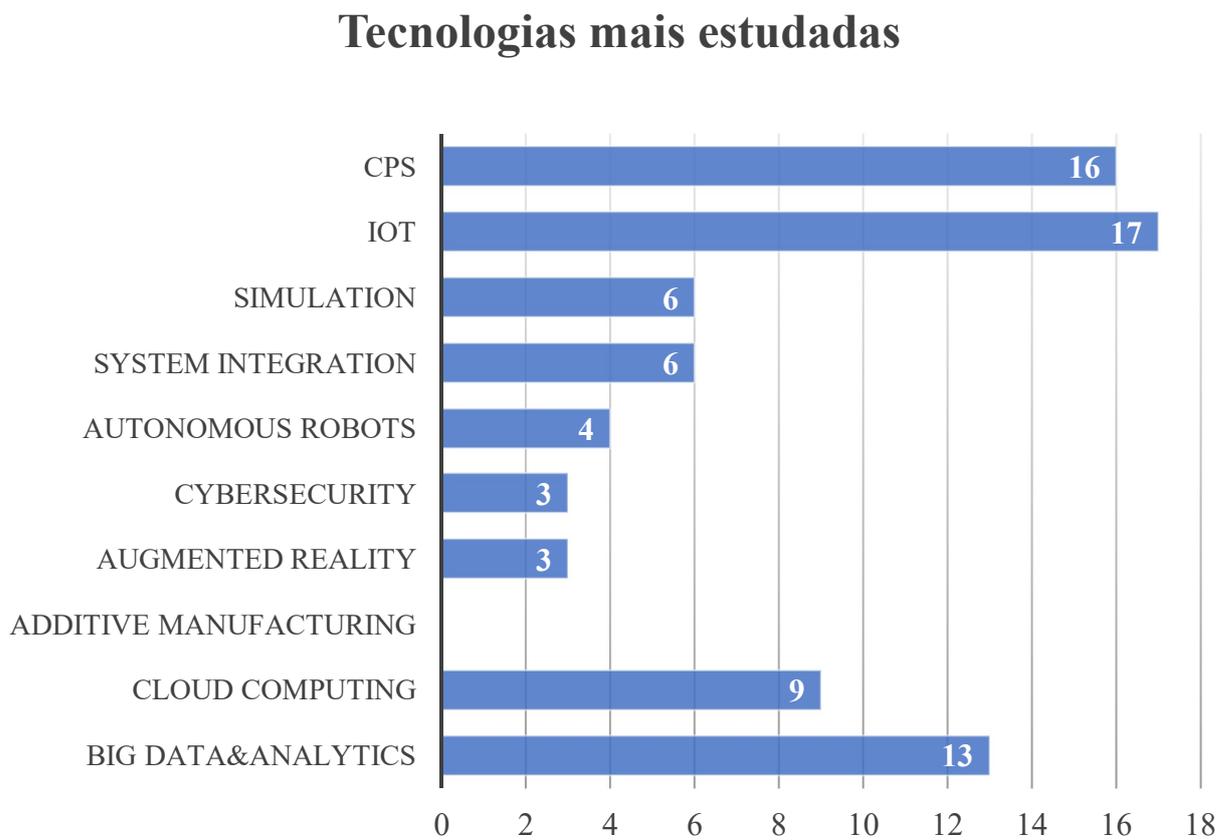
Author	Year	Subject Area	Big Data & Analytics	Cloud Computing	Additive Manufacturing	Augmented Reality	Cyber security	Autonomous Robots	System Integration	Simulation	IoT	CPS
1	Huang et al.	2019	Engineering/Computer Science		1						1	1
2	Liu et al	2019	Engineering/Computer Science	1	1				1		1	1
3	Vrchota, J. et al	2019	Social Sciences				1					1
4	Haseeb, M. et al	2019	Social Sciences	1							1	1
5	Martínez-Olvera, C. et al	2019	Social Sciences/Energy/Environmental Science	1			1			1		1
6	Chen, C.L.	2019	Decision Sciences/Computer Science	1							1	1
7	Rauch, E. et al	2019	Engineering/Mathematics									1
8	Türkeş, M.C. et al	2019	Chemical Engineering	1			1	1	1		1	1
9	Yazdı, P.G. et al	2019	Social Science/Energy/Environmental Science							1		
10	Bär, K. et al	2018	Engineering				1			1	1	1
11	Müller, J.M. et al	2018	Chemical Engineering						1		1	1
12	Sevinç, A. et al	2018	Chemical Engineering	1							1	
13	Müller, J.M. et al	2018	Business, Management and Accounting/Engineering/Energy/Materials Science					1			1	
14	Yazdı, P.G. et al	2018	Social Sciences/Energy/Environmental Science								1	
15	Kiangala, K.S. et al	2018	Engineering/Computer Science								1	1
16	Müller, J.M. et al	2018	Business, Management and Accounting/Psychology								1	1
17	Mourtzis, D. et al	2018	Engineering/Computer Science		1						1	1
18	Dassisti, M. et al	2018	Engineering/Computer Science	1	1		1					1
19	Singh, S. et al	2018	Engineering/Computer Science	1	1			1			1	1
20	Saniuk, S. et al	2018	Business, Management and Accounting/Engineering	1	1						1	
21	Moëuf, A. et al	2017	Business, Management and Accounting/Engineering/Decision Sciences	1	1		1	1		1	1	1
22	Rodič, B.	2017	Business, Management and Accounting							1		
23	Schlegel, A. et al	2017	Engineering/Computer Science	1					1			
24	Uhlemann, T.H.J. et al	2017	Engineering/Computer Science							1		
25	Jun, C. et al	2017	Engineering/Computer Science	1	1				1		1	
26	Yu, C. et al	2015	Engineering		1				1			
27	Lee, J. et al	2015	Engineering	1								
Total			13	9	0	3	3	4	6	6	17	16

Autor, 2019

Quadro 1: Temas e países dos autores

Title	Author	Country
1 Industry 4.0: Development of a multi-agent system for dynamic value stream mapping in SMEs	Huang et al.	Australia
2 (Smart CPS) Integrated application in intelligent production and logistics management: technical architectures concepts and business model analyses for the customised facial masks manufacturing	Liu et al.	China
3 Factors Introducing Industry 4.0 to SMES	Vrchota, J. et al.	Czech Republic
4 Industry 4.0: A Solution towards Technology Challenges of Sustainable Business Performance	Haseeb, M. et al.	Malaysia/Poland/South Africa/Thailand
5 A Comprehensive Framework for the Analysis of Industry 4.0 Value Domains	Martinez-Olvera, C. et al.	Mexico
6 Value Creation by SMEs Participating in Global Value Chains under Industry 4.0 Trend: Case Study of Textile Industry in Taiwan	Chen, C.L.	Taiwan
7 Axiomatic design guidelines for the design of flexible and agile manufacturing and assembly systems for SMEs	Rauch, E. et al.	Italy
8 Drivers and Barriers in Using Industry 4.0: A Perspective of SMEs in Romania	Türkeş, M.C. et al.	Pakistan/Romania
9 A Hybrid Methodology for Validation of Optimization Solutions Effects on Manufacturing Sustainability with Time Study and Simulation Approach for SMEs	Yazdı, P.G. et al.	Cyprus/Oman/Turkey
10 Considering Industry 4.0 aspects in the supply chain for an SME	Bär, K. et al.	Denmark
11 Business Model Innovation of Industry 4.0 Solution Providers Towards Customer Process Innovation	Müller, J.M. et al.	Austria/Germany
12 Analysis of the Difficulties of SMEs in Industry 4.0 Applications by Analytical Hierarchy Process and Analytical Network Process	Sevinç, A. et al.	Turkey
13 Sustainable Industrial Value Creation in SMEs: A Comparison between Industry 4.0 and Made in China 2025	Müller, J.M. et al.	Austria/Germany
14 An Empirical Investigation of the Relationship between Overall Equipment Efficiency (OEE) and Manufacturing Sustainability in Industry 4.0 with Time Study Approach	Yazdı, P.G. et al.	Cyprus/Oman
15 Initiating predictive maintenance for a conveyor motor in a bottling plant using industry 4.0 concepts	Kiangala, K.S. et al.	South Africa
16 Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0	Müller, J.M. et al.	Germany
17 An Internet of Things-Based Monitoring System for Shop-Floor Control	Mourtzis, D. et al.	Greece
18 An approach to support I4.0 adoption in SMEs: a core-metamodel and applications	Dassisi, M. et al.	Italy
19 Framework and modelling of inclusive manufacturing system	Singh, S. et al.	India
20 Challenges of Industry 4.0 for Production Enterprises Functioning Within Cyber Industry Networks	Saniuk, S. et al.	Poland
21 The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0	Moëuf, A. et al.	Canada/France
22 Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm	Rodič, B.	Slovenia
23 Developing and Harnessing the Potential of SMEs for Eco-efficient Flexible Production	Schlegel, A. et al.	Germany
24 The Digital Twin: Demonstrating the Potential of Real Time Data Acquisition in Production Systems	Uhlemann, T.H.J. et al.	Germany
25 Applications' Integration and Operation Platform to Support Smart Manufacturing by Small and Medium-sized Enterprises	Jun, C. et al.	South Korea
26 Computer-Integrated Manufacturing, Cyber-Physical Systems and Cloud Manufacturing – Concepts and relationships	Yu, C. et al.	China/New Zealand
27 A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems	Lee, J. et al.	USA

Figura 3: Tecnologias da indústria 4.0



Fonte: Autor, 2019

O estudo levantou artigos indexados na base Scopus, tendo revelado uma observação importante. Dos 75 artigos pesquisados, não havia um artigo sequer com tema da indústria 4.0 voltado para PMEs oriundos do Brasil ou publicados por brasileiros. Isso denota a necessidade de estudos deste tema no país, visto a importância que as PMEs representam para economia no Brasil. No Brasil PMEs significam 53,4% do PIB do setor, 22,5% na Indústria e 36,3% no de Serviços. Respondem por 52% dos empregos formais e 40% dos salários pagos (SEBRAE, 2013). Podemos ver pelas Figuras 4 e 5 e Quadro 1 que os estudos sobre o tema da indústria 4.0 associados a PMEs, vem crescendo no mundo todo de forma exponencial, denota-se a importância desse assunto, inclusive em vários países emergentes como China, Turquia, Polônia e Índia. Outros países emergentes como Malásia, Omã e Taiwan já seguem os passos dos países desenvolvidos nessa área de estudo, porém Brasil ainda não possui representatividade, tanto que não apareceu na pesquisa feita no Scopus. Apesar disso o governo brasileiro, através do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços - MDIC, instituiu em 2017 o GTI 4.0, grupo de trabalho da indústria 4.0, composta por várias entidades, entre elas Sebrae, Senai e Fiesp, porém, no site <http://www.industria40.gov.br>, não aparece nenhuma política voltada especificamente para as PMEs, ou seja, as ações são ainda recentes e as PMEs ainda precisam competir em apoio com as grandes corporações. A Figura 6 ilustra as áreas onde se tem mais estudos, mostrando que a engenharia, ciências da computação e negócios são predominantes, mais uma vez confirmando a integração das tecnologias do *cyber* e do *physical* com os negócios, mostrando como estão intimamente ligados, podendo ser um indicativo para entidades, governos e até para PMEs, a trilha a ser seguida. Conforme (MDIC, 2019), a migração da indústria para conceito da Indústria 4.0 gerariam altos impactos na economia do Brasil, reduzindo custos para indústria, ganhando eficiência, baixando custos de manutenção e gerando economia de energia, na ordem de 73 bilhões

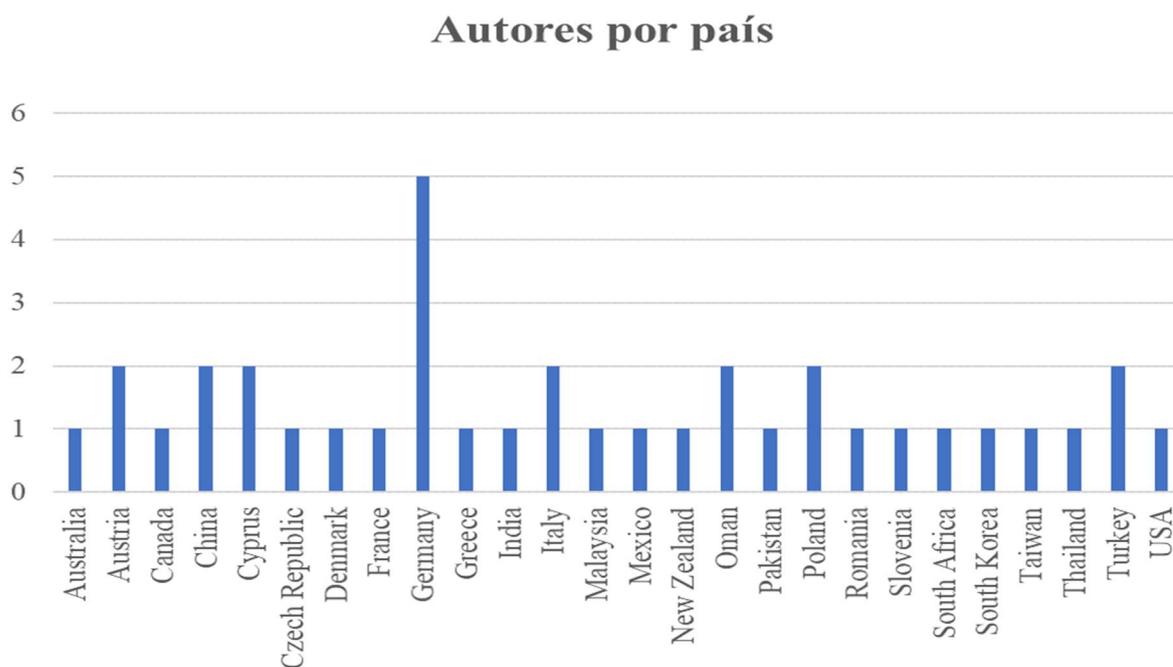
ao ano (MDIC, 2019). Sendo assim, com as políticas governamentais vindas do GTI 4.0, espera-se que seja dada devida importância à área das PMEs, por sua contribuição e importância à economia brasileira. Um fato que chama a atenção na figura é a forte presença das Ciências Sociais, empatadas com os negócios. Isso mostra que apesar das tecnologias ditarem os passos dessa nova revolução, o papel dos seres humanos continua com fundamental importância quanto ao sucesso da implementação da Indústria 4.0.

Figura 4: Distribuição de pesquisas por ano



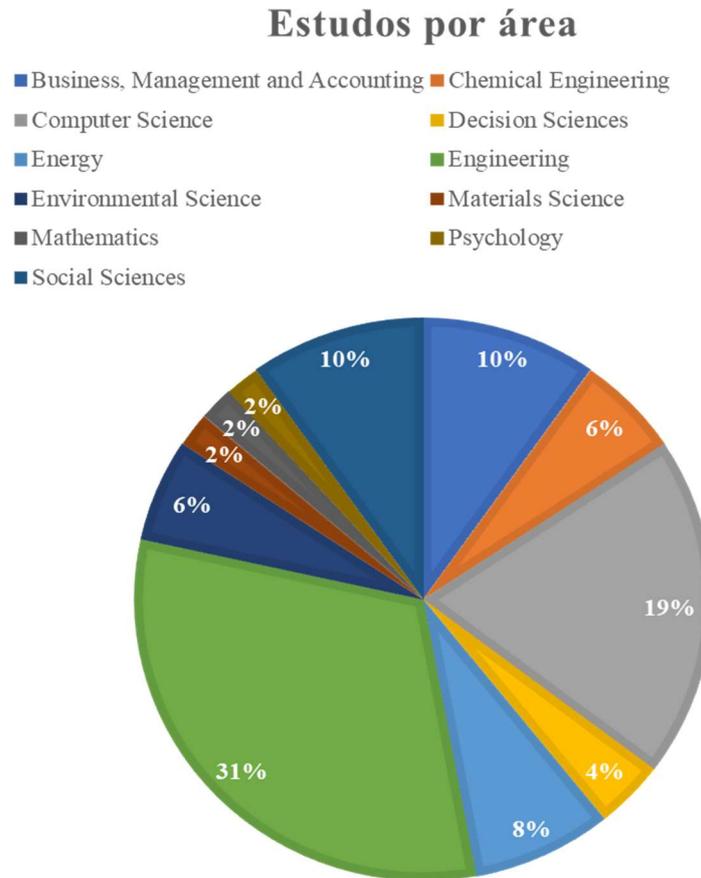
Fonte: Autor, 2019

Figura 5: Resultado de pesquisa por país



Fonte: Autor, 2019

Figura 6: Distribuição dos estudos por área



Fonte: Autor, 2019

5. CONCLUSÃO

O estudo teve a intenção de levantar as tecnologias envolvidas no conceito da indústria 4.0, verificando quais delas são as primordiais para entrada das PMEs na quarta revolução industrial, permanecendo competitivo, flexível e ágil quanto ao atendimento (ISSA; LUCKE; BAUERNHANS, 2017). Os resultados, obtidos através da análise de artigos publicados na base Scopus, mostraram que as 3 tecnologias da área *cyber*: *IoT*, *Big Data & Analytics* e *Cloud Computing* são as mais citadas e estudadas nessa área. Conclui-se então como sendo essas três, as primeiras tecnologias que as PMEs precisam adotar e investir para adentrar à da indústria 4.0, ao mesmo tempo satisfazendo a Proposição 1 (P1), uma vez que existem tecnologias que são pertinentes para entrada das PMEs na Indústria 4.0. Além disso, o fato dessas 3 tecnologias serem da área *cyber*, no geral oferecidas atualmente por empresas terceirizadas, demandando menores custos de implementação, ou seja, custos de transação menores, contribui para validar a Proposição 2 (P2), onde afirma-se que as tecnologias de entrada para PMEs na Indústria 4.0 possuem baixos custos de transação. No entanto, a TCT lida com desenvolvimento tecnológico, ou seja, novas tecnologias como um custo, ao invés de investimento e melhoria para potencializar a competitividade da empresa (PONDÉ; FAGUNDES; POSSAS, 1997). Essa contradição merece um estudo mais aprofundado para esclarecer e definir o papel das novas tecnologias na Teoria dos Custos de Transação. A quarta revolução industrial está baseada em tecnologias e as inovações são cada dia mais velozes, portanto, as teorias precisam assumir o mesmo dinamismo para acompanhar o desenvolvimento da sociedade.

As conclusões feitas são teóricas e futuras pesquisas de campo, assim como também novos estudos, através de outras metodologias, podem ratificar os resultados obtidos pela análise feita. A menção do CPS em repetidos artigos, muitas vezes confundindo-se com o conceito da Indústria 4.0, demonstra a falta de consenso sobre a definição deste constructo. Além dessas 9 tecnologias, há outras que são tratadas isoladamente, surgindo a dúvida se a CPS reúne sob seu conceito essas tecnologias também ou se há outros conceitos base onde essas outras tecnologias pertencem? Há espaços para estudos sobre esses conceitos guarda-chuvas e classificação e pertinência das tecnologias a cada conceito guarda-chuva, ajudando na definição mais convergente da Indústria 4.0. O uso da TCT para justificar a escolha das tecnologias primordiais foi baseado no que mais afeta as PMEs, ou seja, os custos. TCT é uma das possibilidades, sendo que outras teorias podem ser mais ou menos aderentes para explicar os passos necessários às PMEs, rumo a quarta revolução industrial.

Referências Bibliográficas

- ALCÁCER, V.; CRUZ-MACHADO, V. Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, n. xxxx, 2019.
- ASSANTE, D. et al. The Use of Cloud Computing in SMEs. **Procedia Computer Science**, v. 83, p. 1207–1212, 2016.
- ATTARAN, M.; WOODS, J. Cloud computing technology: improving small business performance using the Internet. **Journal of Small Business and Entrepreneurship**, v. 6331, 2018.
- BAGHERI, B. et al. Cyber-physical Systems Architecture for Self-Aware Machines in Industry 4.0 Environment. **IFAC-PapersOnLine**, v. 48, n. 3, p. 1622–1627, 2015.
- BAHRIN, M. A. K. et al. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. **Jurnal Teknologi**, v. 78, n. 6–13, p. 137–143, 2016.
- BORTOLINI, M. et al. Assembly system design in the Industry 4.0 era: a general framework. **IFAC-PapersOnLine**, v. 50, n. 1, p. 5700–5705, 2017.
- BRANCO, T.; DE SÁ-SOARES, F.; RIVERO, A. L. Key Issues for the Successful Adoption of Cloud Computing. **Procedia Computer Science**, v. 121, p. 115–122, 2017.
- CHONG, L.; RAMAKRISHNA, S.; SINGH, S. A review of digital manufacturing-based hybrid additive manufacturing processes. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 95, n. 5–8, p. 2281–2300, 2018.
- DOMBROWSKI, U.; WAGNER, T. Mental strain as field of action in the 4th industrial revolution. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 100–105, 2014.
- DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or hype? [Industry Forum]. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 8, n. 2, p. 56–58, 2014.
- EISENHARDT, K. M. Building Theories form Case Studies. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532–550, 1989.
- FELDERER, M. et al. Innovations in enterprise information systems management and engineering: 4th international conference, ERP Future 2015 - research munich, Germany, November 16-17, 2015 revised papers. **Lecture Notes in Business Information Processing**, v. 245, p. 121–137, 2016.
- FREEMAN, R. E.; WILLIAMSON, O. The Economic Institutions of Capitalism. **The Academy of Management Review**, v. 12, n. 2, p. 385, 2006.
- GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S. 1207.0203. **Atmospheric Environment**, n. 1, p. 1–19, 2013.
- HECKLAU, F. et al. Holistic Approach for Human Resource Management in Industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 54, p. 1–6, 2016.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. **Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences**, v. 2016-March, p. 3928–3937, 2016.

HOZDIĆ, E. Smart Factory for Industry 4.0: a Review. **International Journal of Modern Manufacturing Technologies**, v. 7, n. January 2015, p. 28–35, 2016.

ISSA, A.; LUCKE, D.; BAUERNHANSL, T. Mobilizing SMEs Towards Industrie 4.0-enabled Smart Products. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 670–674, 2017.

IVANOV, D. et al. A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 2, p. 386–402, 2016.

KAGERMANN, HENNING; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Securing the future of German manufacturing industry initiative INDUSTRIE 4.0 implementing the strategic Recommendations for Final report of the Industrie 4.0 Working Group**. (ACATECH, Ed.)2013

KANNUS, K.; ILVONEN, I. Future Prospects of Cyber Security in Manufacturing: Findings from a Delphi Study. **Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences**, p. 4762–4771, 2018.

KIM, J. H. A Review of Cyber-Physical System Research Relevant to the Emerging IT Trends: Industry 4.0, IoT, Big Data, and Cloud Computing. **Journal of Industrial Integration and Management**, v. 02, n. 03, p. 1750011, 2017.

KWON, O.; LEE, N.; SHIN, B. Data quality management, data usage experience and acquisition intention of big data analytics. **International Journal of Information Management**, v. 34, n. 3, p. 387–394, 2014.

LANDHERR, M.; SCHNEIDER, U.; BAUERNHANSL, T. The Application Center Industrie 4.0 - Industry-driven Manufacturing, Research and Development. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 26–31, 2016.

LASI, H.-G. K. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 132, p. 205–215, 2014.

LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, v. 58, n. 4, p. 431–440, 2015.

LI, L. China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0". **Technological Forecasting and Social Change**, v. 135, n. February 2017, p. 66–74, 2018.

LI, W. et al. e-Leadership through strategic alignment: An empirical study of small- and medium-sized enterprises in the digital age. **Journal of Information Technology**, v. 31, n. 2, p. 185–206, 2016.

LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 1–10, 2017.

MAANEN, V. Editor's comments: the craft of writing theory articles —. **Academy of Management Review**, v. 37, n. 3, p. 327–331, 2012.

MARINS, L. M. Economia, Tecnologia E Inovação: Da Teoria Da Firma À Gestão Da Inovação. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa**, v. 6, n. 1, p. 1–14, 2009.

MDIC, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Disponível em <www.industria40.gov.br> Acesso em 20 de maio 2019

MITTAL, S. et al. A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). **Journal of Manufacturing Systems**, v. 49, n. October, p. 194–214, 2018.

MOEUF, A. et al. The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 3, p. 1118–1136, 2018.

MOTYL, B. et al. How will Change the Future Engineers' Skills in the Industry 4.0 Framework?

A Questionnaire Survey. **Procedia Manufacturing**, v. 11, n. June, p. 1501–1509, 2017.

MOURTZIS, D.; DOUKAS, M.; BERNIDAKI, D. Simulation in manufacturing: Review and challenges. **Procedia CIRP**, v. 25, n. C, p. 213–229, 2014.

MUHURI, P. K.; SHUKLA, A. K.; ABRAHAM, A. Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 78, n. September 2018, p. 218–235, 2019.

MÜLLER, J. M.; BULIGA, O.; VOIGT, K. I. Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, n. January, p. 2–17, 2018.

NEUGEBAUER, R. et al. Industrie 4.0 - From the Perspective of Applied Research. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 2–7, 2016.

PIEDRAHITA, A. F. M. et al. Virtual incident response functions in control systems. **Computer Networks**, v. 135, p. 147–159, 2018.

PONDÉ, J. L.; FAGUNDES, J.; POSSAS, M. Custos de transação e políticas de defesa da concorrência. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 2, p. 115–135, 1997.

QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and beyond. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 173–178, 2016.

QUEIROZ, M. M.; TELLES, R. Big data analytics in supply chain and logistics: an empirical approach. **International Journal of Logistics Management**, v. 29, n. 2, p. 767–783, 2018.

RODIČ, B. Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm. **Organizacija**, v. 50, n. 3, p. 193–207, 2017.

SAFAR, L. et al. Concept of SME Business Model for Industry 4.0 Environment. **TEM Journal**, Vol 7, Iss 3, Pp 626-637 (2018) VO - 7, v. 7, n. 3, p. 626, 2018.

SALKIN, C. et al. A Conceptual Framework for Industry 4.0. p. 3–23, 2017.

SAUCEDO-MARTÍNEZ, J. A. et al. Industry 4.0 framework for management and operations: a review. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 9, n. 3, p. 789–801, 2018.

SEBRAE, Micro e pequenas empresas geram 27% do PIB do Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/mt/noticias/micro-e-pequenas-empresas-geram-27-do-pib-do-brasil,ad0fc70646467410VgnVCM2000003c74010aRCRD>> Acesso em 10 de maio de 2019

SEZER, O. B.; DOGDU, E.; OZBAYOGLU, A. M. Context-Aware Computing, Learning, and Big Data in Internet of Things: A Survey. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 5, n. 1, p. 1–27, 2018.

SYBERFELDT, A. et al. Visual Assembling Guidance Using Augmented Reality. **Procedia Manufacturing**, v. 1, p. 98–109, 2015.

TUPA, J.; SIMOTA, J.; STEINER, F. Aspects of Risk Management Implementation for Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 11, n. June, p. 1223–1230, 2017.

VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0 - A Glimpse. **Procedia Manufacturing**, v. 20, p. 233–238, 2018.

VOGEL-HEUSER, B.; HESS, D. Guest Editorial Industry 4.0—Prerequisites and Visions. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 13, n. 2, p. 411–413, 2016.

VON SOLMS, R.; VAN NIEKERK, J. From information security to cyber security. **Computers and Security**, v. 38, p. 97–102, 2013.

WHETTEN, David A. Desenvolvimento de teoria. O que constitui uma contribuição teórica? **RAE-revista de administração de empresas**, v. 43, n. 3, p. 69-73, 2003.

WU, Q.; LIU, Y.; WU, C. An overview of current situations of robot industry development. **ITM Web of Conferences**, v. 17, p. 03019, 2018.

XU, L. DA; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941–2962, 2018.