

# UM ESTUDO QUANTITATIVO SOBRE OS RISCOS DA INDÚSTRIA 4.0 NO CONTEXTO INDUSTRIAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A QUANTITATIVE STUDY OF INDUSTRY 4.0 RISKS IN THE INDUSTRIAL CONTEXT: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

## **Ramon Soltovski**

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Ponta Grossa/Brasil).  
E-mail: ramonsoltovski@outlook.com

## **Luis Mauricio Martins de Resende**

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (Florianópolis/Brasil).  
Professor titular na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Ponta Grossa/Brasil).  
E-mail: lmresende@utfpr.edu.br

## **Joseane Pontes**

Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (Florianópolis/Brasil).  
Professora titular da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Ponta Grossa/Brasil).  
E-mail: joseane@utfpr.edu.br

## **Rui Tadashi Yoshino**

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo (São Carlos/Brasil).  
Professor titular da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Ponta Grossa/Brasil).  
E-mail: ruiyoshino@utfpr.edu.br

## **Leonardo Breno Pessoa da Silva**

Engenheiro de Produção pela Universidade do Estado do Pará (Marabá/Brasil).  
Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Ponta Grossa/Brasil).  
E-mail: leonardobrenopessoa@hotmail.com

Recebido em: 3 de março de 2020

Aprovado em: 11 de junho de 2020

Sistema de Avaliação: Double Blind Review

RGD | v. 17 | n. 3 | p. 165-191 | set./dez. 2020

DOI: <https://doi.org/10.25112/rgd.v17i3.2245>

## RESUMO

A Indústria 4.0 é um tema em ascensão tanto no meio acadêmico como no contexto prático de empresas. As pesquisas atuais focam seus esforços nos estudos dos benefícios dos conceitos e tecnologias envolvidos no conceito da Quarta Revolução Industrial, no entanto, poucas procuram entender quais os pontos negativos. Dessa forma, através de uma revisão bibliográfica sistematizada realizada em janeiro de 2019, esse estudo procura entender quais são riscos em evidência na literatura que empresas do setor industrial podem enfrentar no contexto da Indústria 4.0. Foram selecionados 66 artigos através das bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, os quais foram bibliometricamente estudados em relação aos autores e periódicos mais relevantes. Em seguida, estudando os 28 riscos mapeados na literatura por Soltovski et al. (2019), foi possível entender quais são mais representativos na literatura na perspectiva da sustentabilidade (ambiental, econômico e social) e na perspectiva tecnológica. De forma geral, descobrimos que os riscos relacionados à conectividade, como cyber attacks e vazamento de dados privados através de tecnologias, como Internet das Coisas, são os mais discutidos na literatura. Além disso, constatamos que existe carência de estudos na perspectiva ambiental e econômica. Por fim, foram sumarizadas contribuições gerenciais e potenciais direcionamentos para futuros pesquisadores.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0. Sustentabilidade. Gestão de Risco.

## ABSTRACT

Industry 4.0 is a growing topic, both in academia and in the practical context of companies. Current research focuses its efforts on studies of benefits and technologies involved in the concept of the Fourth Industrial Revolution, however, they rarely understand what the negative points are. Thus, through a systematic literature review conducted in January 2019, this study can understand what are the risks in evidence in the literature that companies in the industrial sector may face in the context of Industry 4.0. 66 articles were selected on the Scopus and Web of Science databases, which are the bibliometrically studied in relation to the most relevant authors and journals. Then, studying the 28 risks mapped in the literature by Soltovski et al. (2019), it was possible to understand which are the most representative in the literature from the perspective of sustainability (environmental, economic and social) and from a technological perspective. In general, we found that risks related to connectivity such as cyber attacks and data leakage are using technologies like the Internet of Things that are most discussed in the literature. In addition, we note that there is a lack of studies from an environmental and economic perspective. Finally, managerial contributions were summarized and directed to future researchers.

**Keywords:** Industry 4.0. Sustainability. Risk Management.

## 1 INTRODUÇÃO

As novas gerações têm testemunhando uma adoção crescente de tecnologias digitais, onde a Indústria 4.0 aparece como uma revolução que remodelará as indústrias manufatureiras (REISCHAUER, 2018). Essa nova revolução está associada, principalmente, ao desenvolvimento de redes industriais dos quais as empresas estarão conectadas ao longo de toda a cadeia de valor, possibilitando mudanças em processos, produtos e modelos de negócios (SILVA; OLAVE, 2020). Para que ocorra essa interconexão, algumas tecnologias e conceitos-chaves são requisitados, sendo a principal o conceito de *Cyber Physical System* (CPS), referindo-se a sistemas digitais que gerenciam o mundo físico e virtual (LASI *et al.*, 2014). Além do CPS, outras tecnologias são requisitadas, como: *Internet of Things* (IoT), *Big Data Analytics*, *Cloud Computing*, *Cyber Security*, *Augmented Reality*, *Simulation*, *Machine Learning*, *Additive Manufacturing*, etc.

A partir destes conceitos e tecnologias em evidência, as empresas podem ter aumento de produtividade, vantagens competitivas, redução de custos, melhoria na qualidade e condições de trabalho de funcionários, maior conexão vertical e horizontal entre empresas, entre outros benefícios (KIEL *et al.*, 2017). Além disso, a Indústria 4.0 estimula os avanços na ciência e tecnologia (LIAO *et al.*, 2018). Dessa forma, este tema tem sido discutido e ganhado popularidade nos últimos anos tanto na academia como em ambientes empresariais (BUER *et al.*, 2018). Porém, a maioria das pesquisas destacam as vantagens e benefícios da Indústria 4.0, entretanto existe uma escassez de trabalhos voltados aos pontos negativos (PICCAROZZI *et al.*, 2018), visto que as sociedades modernas enfrentam mudanças semelhantes as passagens da sociedade agrárias para as industriais (RAIZER, 2014).

Numa perspectiva empresarial, um grande avanço tecnológico pode, algumas vezes, ser prejudicial para as empresas bem como para toda a sociedade envolvida (LI *et al.*, 2017). Segundo Radanliev *et al.* (2019), novos riscos podem surgir na adoção de novas tecnologias, e desta forma Müller *et al.* (2018) alertam que a Indústria 4.0 não irá cumprir todo seu potencial até que todos os benefícios e riscos envolvidos neste conceito sejam bem compreendidos.

Neste contexto, a pesquisa de Soltovski *et al.* (2019) realizou um mapeamento e discussão dos possíveis riscos que empresas podem enfrentar caso optem por investir em conceitos e tecnologias da Indústria 4.0, subdivididos nas dimensões da sustentabilidade (econômico, social e ambiental) acrescido da dimensão tecnológica. No entanto, ainda há a necessidade de entender quais são os riscos mais relevantes, ou os mais discutidos. Realizar um estudo que traga informações sobre os riscos que tenham maior relevância, mesmo que do ponto de vista da literatura, pode trazer grande benefícios tanto para pesquisadores encontrando pontos de partida para uma novas pesquisas, como para o setor prático industrial, onde gestores podem identificar pontos de alerta quando o assunto é investir na Indústria 4.0.

Portanto, o presente artigo tem como objetivo identificar o quantitativo dos principais riscos provenientes da implantação da Indústria 4.0 no setor industrial mencionados na literatura. Para isso, faz-se necessário uma Revisão Sistemática da Literatura para identificar os principais riscos, como descrito na pesquisa de Soltovski *et al.* (2019), analisar o quantitativo de riscos mencionados e levantar pontos para futuros trabalhos relacionados ao tema de estudo

Em relação a estrutura, a seção 2 apresenta um aporte teórico sobre o assunto abordado. Em seguida, a seção 3 descreve como a metodologia é utilizada para a revisão sistemática da literatura e uma análise bibliométrica do portfólio final levantado. A seção 4 traz os resultados da pesquisa dos riscos levantados da Indústria 4.0 e uma análise quantitativa. A seção 5 apresenta as considerações finais e as implicações dos resultados alcançados.

## **2 INDÚSTRIA 4.0 E A INFLUÊNCIA DA CADEIA DE VALOR**

As revoluções ocorrem quando novas tecnologias e novas formas de perceber o mundo desencadeiam alterações profundas. A primeira revolução industrial iniciada no final do século XVIII impulsionada pela construção de ferrovias (SCHWAB, 2016) promove a evolução da economia agrária para manufaturas mecanizadas através da utilização de sistemas mecânicos movidos a vapor e água (XU *et al.*, 2018). Na segunda revolução industrial, iniciada no final do século XIX, a utilização da energia elétrica foi a base das transformações industriais, onde foi possível realizar a produção em massa (XU *et al.*, 2018) e introduzir linhas de montagem (FONSECA, 2018).

Em meados do século XX, a 3ª revolução industrial foi caracterizada pela utilização da tecnologia microeletrônica, tecnologias da informação (XU *et al.*, 2018), computadores e internet (SCHWAB, 2016) possibilitando a automação (XU *et al.*, 2018). Por fim, com a virada do século XX, a Indústria 4.0, traz uma nova lógica produtiva através da utilização de tecnologias avançadas para digitalização e automação do ambiente de produção, bem como a criação de uma cadeia de valor digital para permitir a comunicação entre parceiros de negócios, produtos, ambiente (LASI *et al.*, 2014; SCHMID, 2015) e pessoas (LEZZI *et al.*, 2018) unindo o mundo físico e virtual (ZHENG *et al.*, 2018).

Nesta pesquisa, os princípios de design de Hermann *et al.* (2015) são as definições chave que descrevem como a Indústria 4.0 pode influenciar toda uma cadeia de valor. Os princípios e suas descrições podem ser observadas na Tabela 1 bem como os autores utilizados para esta construção.

**Tabela 1 - Princípios de Design da Indústria 4.0**

PRINCÍPIO	DESCRIÇÃO	AUTORES
Interoperabilidade	Capacidade de conexão entre dispositivos, Cyber-Physical System (CPS), humanos e indústria.	Herman <i>et al.</i> (2015).
Virtualização	Criação de uma cópia virtual do mundo físico como forma de simulação e controle de processos.	Herman <i>et al.</i> (2015); Dai e Vasarhelyi (2016).
Descentralização	Capacidade de máquinas tomarem decisões de forma independente sem um comando central.	Herman <i>et al.</i> (2015); Li <i>et al.</i> (2014).
Trabalho em Tempo Real	Capacidade de coleta e análise de dados em tempo real.	Herman <i>et al.</i> (2015); Lee e Lee (2015).
Orientação a Serviços	Apresentar as funções dos processos de produção com um conjunto de serviços.	Herman <i>et al.</i> (2015); Al-Jaroodi <i>et al.</i> (2018).
Modularidade	Sistemas modulares são capazes de se ajustar de forma flexível em casos de flutuações sazonais ou alterações.	Herman <i>et al.</i> (2015); Dai e Vasarhelyi (2016).

**Fonte: Dos Autores (2020)**

A Indústria 4.0 e os conceitos envolvidos podem transformar a cadeia de valor para ser mais eficiente, integrada e transparente. Segundo Lasi *et al.* (2014), a integração generalizada dos processos, haverá uma grande quantidade de dados provindo de sensores e atuadores garantindo novas formas de análises, abrindo espaço a novas tecnologias. Haverá também maior proximidade com os clientes promovendo um aumento significativo na qualidade de tomada de decisão (BARRETO *et al.*, 2017). Para Kargerman *et al.* (2013), os clientes poderão ser atendidos de forma individual, permitindo alterações de pequenos prazos e produção em volumes baixos, onde critérios específicos podem ser incluídos nas fases de projeto, configuração, planejamento, fabricação e operação. Além disso, os autores comentam que flutuações repentinas podem ser atendidas e a utilização de recursos pode ser otimizada. Em relação aos trabalhadores, poderá haver maior concentração em atividades criativas de maior valor agregado devido a automatização de serviços rotineiros.

Porém, ao mesmo tempo que as empresas podem se beneficiar da evolução tecnológica trazida pela Quarta Revolução Industrial elas precisam estar atentas aos riscos negativos envolvidos. Segundo a ISO 31000, os riscos estão relacionados a incertezas, as quais são muito presentes no contexto da Indústria 4.0 devido a ser um tema que ainda está em estado conceitual e definições diferentes podem ser encontradas (ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016; PICCAROZZI; AQUILANI; GATTI, 2018). Segundo Müller, Kiel e Voigt (2018), a implantação da indústria 4.0 exige que oportunidades compensem os desafios e os riscos sejam avaliados.

Entre os riscos que podem ser encontrados durante a implementação da indústria 4.0, Soltovski *et al.* (2019) mapeou 28 (Quadro 1). Tais riscos foram divididos pelos autores em quatro dimensões: Econômica, Social, Ambiental e Tecnológica. Essa dimensões são baseadas no conceito de Elkington (1998a, 1998b) de sustentabilidade.

**Quadro 1 - Riscos da Indústria 4.0**

<b>Riscos Econômicos</b>			
Riscos Financeiros	<i>Alto custo de implantação</i>	Grande quantia em investimentos para desenvolvimento da infraestrutura para a indústria 4.0 e adaptação de tecnologias.	Kiel <i>et al.</i> (2017); Li <i>et al.</i> (2017); Kamble <i>et al.</i> (2018); Moktadir <i>et al.</i> (2018); Luthra e Mangla (2018); Liao <i>et al.</i> (2018).
	<i>Incerteza de retorno financeiro</i>	Possibilidade de os investimentos não gerarem aos retornos esperados.	Le e Le (2015); Kiel <i>et al.</i> (2017); Man e Strandhagen (2017); Kamble <i>et al.</i> (2018); Müller <i>et al.</i> (2018).
Planejamento	<i>Imprecisão na implantação</i>	Adoção de soluções e tecnologias da Indústria 4.0 de forma equivocada.	Kiel <i>et al.</i> (2017); Schneider (2018); Kamble <i>et al.</i> (2018); Müller <i>et al.</i> (2018); Moktadir <i>et al.</i> (2018); Müller <i>et al.</i> (2018); Freddi (2018).
	<i>Risco para PMEs<sup>1</sup></i>	PMEs podem se tornar vítimas das mudanças tecnológicas afetando toda uma cadeia de valor.	Sommer (2015); Müller <i>et al.</i> (2018); Kamble <i>et al.</i> (2018); Luthra e Mangla (2018); Müller <i>et al.</i> (2018).
	<i>Dependência de parceiros</i>	Companhias podem se tornar dependentes de fornecedores com <i>know-how</i> e tecnologias necessárias para o desenvolvimento tecnológico.	Müller <i>et al.</i> (2018); Schneider (2018).

Mercado	<i>Aumento da competição</i>	Aumento da competição devido a facilidade de entrada de novos <i>players</i> através do desaparecimento dos limites empresariais e novos modelos de negócio, onde companhias de diferentes localidades e setores podem entrar no mercado.	Li <i>et al.</i> (2017); Kiel, <i>et al.</i> (2017); Freddi (2018).
	<i>Intervenção negativa de clientes</i>	Clientes podem afetar de forma negativa o processo produtivo devido aos novos modelos de negócio, onde intervenções e ajustes de especificações podem ser realizados em todo o ciclo de produção.	Kamble <i>et al.</i> (2018); Müller <i>et al.</i> (2018).
	<i>Dificuldade de aceitação de clientes</i>	Clientes podem não aderir as novas soluções e tecnologias da Indústria 4.0.	Kiel <i>et al.</i> (2017); Kiel <i>et al.</i> (2017); Schneider (2018).
<b>Riscos Sociais</b>			
Capital Humano	<i>Falta de mão de obra qualificada</i>	Escassez de mão de obra qualificada para manuseio das novas tecnologias.	Lee e Lee (2015); Tupa <i>et al.</i> (2017); Li <i>et al.</i> (2017); Kiel <i>et al.</i> (2017); Kamble <i>et al.</i> (2018); Moktadir <i>et al.</i> (2018); Freddi (2018); Saucedo-Martínez <i>et al.</i> (2018).
	<i>Relutância às mudanças</i>	Parceiros e trabalhadores podem ser relutantes as mudanças tecnológicas.	Kiel <i>et al.</i> (2017); Luthra e Mangla (2018); De Souza Jabbour <i>et al.</i> , (2018); Schneider (2018).
	<i>Risco à integridade física de trabalhadores</i>	Acidentes devido ao trabalho em conjunto entre trabalhadores e máquinas.	Gao <i>et al.</i> (2015); Robla-Gómez <i>et al.</i> (2017); Badri <i>et al.</i> (2018); Gobbo Junior <i>et al.</i> (2018); Jansen e Jeschke (2018).
	<i>Problemas psicossociais</i>	Trabalhadores podem desenvolver problemas psicossociais devido as mudanças causadas pela transformação digital.	Badri <i>et al.</i> (2018); Hirschi, (2018).
Sociedade	<i>Aumento das desigualdades e tensões sociais</i>	Uma menor porção da população pode ser mais favorecida pelas melhorias provenientes da Indústria 4.0.	Maynard (2015); Caruso (2017); Rajnai e Kocsis (2017); Li <i>et al.</i> (2017); Salento (2018); Bonilla <i>et al.</i> (2018); Freddi (2018).
	<i>Perda de posições de trabalho</i>	Desemprego causado pela substituição da mão de obra por máquinas.	Li <i>et al.</i> (2017); Caruso (2017); Freddi, (2018); Fonseca (2018); Salento (2018).

Ética e legalidade	<i>Consequências éticas provenientes de Ais<sup>2</sup></i>	Inteligências Artificiais podem não ser capazes de identificar questões éticas na tomada de decisões autônomas.	Taddeo e Floridi (2018); Winderfiel <i>et al.</i> (2019).
	<i>Invasão de privacidade</i>	Clientes e trabalhadores podem sofrer invasão de privacidade devido ao acesso de dados privados por empresas.	Lee e Lee (2015); Roblek <i>et al.</i> (2016); Strange e Zucchella (2017); Zhou <i>et al.</i> (2018); Sisinni <i>et al.</i> (2018); Romero <i>et al.</i> (2018); Özdemir (2018).
<b>Riscos Ambientais</b>			
Consumo	<i>Aumento no consumo de recursos naturais</i>	Alto consumo de recursos naturais na fabricação de novas máquinas e tecnologias para suprir as demandas da Indústria 4.0.	Bonilla <i>et al.</i> (2018); Stock <i>et al.</i> (2018).
	<i>Alto consumo de energia</i>	Alto consumo de energia para a operação das novas tecnologias.	Li <i>et al.</i> (2017); Bonilla <i>et al.</i> (2018); Stock <i>et al.</i> (2018); Moktadir <i>et al.</i> (2018); Pilloni, (2018); Kamble <i>et al.</i> (2018).
Poluição	<i>Lixo eletrônico</i>	Aumento de lixo eletrônico causado pela substituição de maquinários obsoletos.	Bonilla <i>et al.</i> (2018); Stock <i>et al.</i> (2018).
	<i>Risco de emissões poluentes</i>	Aumento do consumo de combustíveis para fabricação de novos equipamentos, transporte de maquinários obsoletos e uso de energia primárias para operação das tecnologias podem gerar emissões carbônicas.	Bonilla <i>et al.</i> (2018); Stock <i>et al.</i> (2018); Moktadir <i>et al.</i> (2018).



Riscos Tecnológicos			
Risco Técnicos	<i>Interferências de sinais</i>	A grande quantidade de equipamentos conectados simultaneamente pode causar interferências entre si. Além disso, dificuldades podem ser geradas pelas condições adversas do ambiente industrial.	Preuveneers e Ilie-Zudor, (2017); Li <i>et al.</i> (2017); Pilloni, (2018); Sisinni <i>et al.</i> (2018).
	<i>Incapacidade técnica da rede</i>	A internet industrial pode não ser capaz de suportar a grande quantidade de informações geradas.	He <i>et al.</i> (2016); Khan <i>et al.</i> (2017); Preuveneers e Ilie-Zudor (2017); Pilloni (2018); Sisinni <i>et al.</i> (2018); Moktadir <i>et al.</i> (2018); Luthra e Mangla (2018); Chen <i>et al.</i> (2018).
	<i>Falta de interoperabilidade</i>	Máquinas e sistemas podem não ser capazes de comunicar entre si devido à grande heterogeneidade dos formatos de dados.	Gao <i>et al.</i> (2015); Wan <i>et al.</i> (2016); Kiel <i>et al.</i> (2017); Khan <i>et al.</i> (2017); Ur Rehman (2018); Kamble <i>et al.</i> (2018); Pilloni (2018); Sisinni <i>et al.</i> (2018); Xu <i>et al.</i> (2018); Kalør <i>et al.</i> (2018); Bonilla <i>et al.</i> (2018).
	<i>Caos tecnológico</i>	Uma falha num sistema altamente conectado pode causar caos generalizado.	Maynard (2015); Lee e Lee (2015); Stock e Seliger (2016); Özdemir (2018); Ivanov, Dolgui e Sokolov, (2018).
Segurança de dados	<i>Ataques cibernéticos</i>	Sistemas e equipamentos podem ser invadidos.	Lee e Lee (2015); Maynard (2015); Gao <i>et al.</i> (2015); He <i>et al.</i> (2016); Wang <i>et al.</i> (2016); Tupa <i>et al.</i> (2017); Kiel <i>et al.</i> (2017); Strange e Zucchella (2017); Kiel <i>et al.</i> (2017); Jansen e Jeschke (2018); Tuptuk e Hailes (2018); Radanliev <i>et al.</i> (2018); Lezzi <i>et al.</i> (2018); Kamble <i>et al.</i> (2018); Pilloni, (2018); Özdemir (2018); Zhou <i>et al.</i> (2018); Dawson (2018), Wu <i>et al.</i> , (2018); Wu Song e Moon (2019).
	<i>Divulgação de dados privados</i>	Dados particulares de cliente, parceiros ou empresas podem ser divulgados.	Freddi (2016); Roblek <i>et al.</i> (2016); Müller <i>et al.</i> (2018); Xu <i>et al.</i> (2018).
Gestão dos dados	<i>Análise ineficiente dos dados</i>	Análises ineficientes de dados podem ocorrer devido à dificuldade de gerenciamento do <i>Big Data</i> .	Foidl e Felderer (2016); He <i>et al.</i> (2016); Wang <i>et al.</i> (2016); Li <i>et al.</i> (2017); Khan <i>et al.</i> (2017); Ivanov, Dolgui e Sokolov, (2018); Ur Rehman (2018).
	<i>Dados de baixa qualidade</i>	Os dados gerados por equipamentos, pessoas e sistemas podem ter problemas de qualidade nas informações.	Li <i>et al.</i> (2017); Luthra e Mangla (2017); Kirchen <i>et al.</i> (2017); Yan <i>et al.</i> (2017); Xu <i>et al.</i> (2018); Ur Rehman (2018); Chen <i>et al.</i> (2018).

1 – PMEs: Pequenas e Médias Empresas; 2- AIs: Inteligências Artificiais.

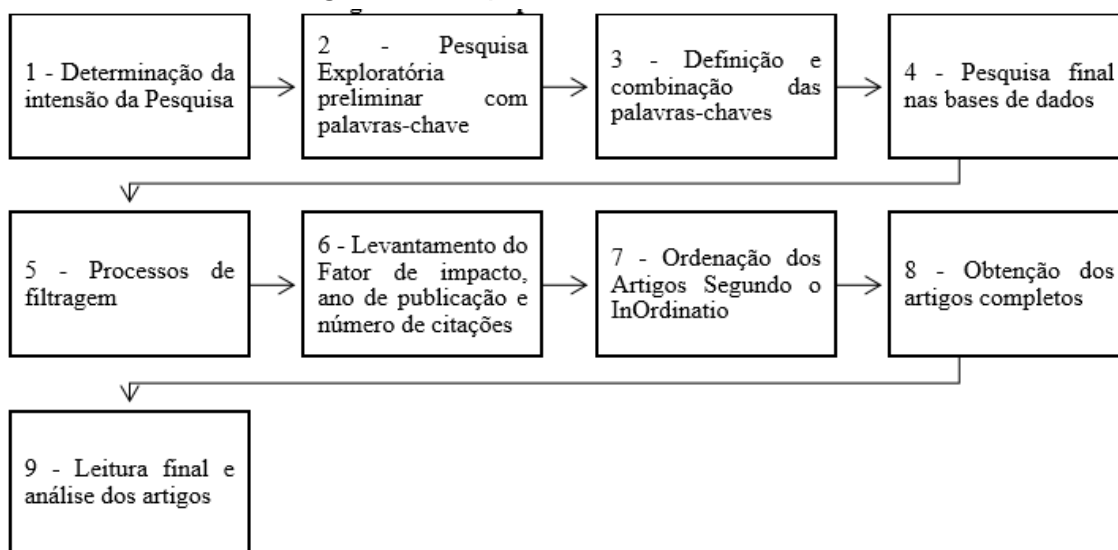
**Fonte: Soltoviski *et al.* (2019)**

A forma como os riscos foram mapeados por Soltovski *et al.* (2019), também é base utilizada nesta pesquisa para entender a representatividade dos riscos na literatura.

### 3 PROCESSO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Dentro do ramo da pesquisa, a grande quantidade de periódicos e publicações científicas torna o trabalho dos pesquisadores algo complexo e extenso em relação ao material bibliográfico que irão utilizar. Neste aspecto, estabelecer critérios adequados para eleger sistematicamente os estudos mais relevantes para uma pesquisa pode auxiliar neste trabalho (PAGANI *et al.*, 2015). Desta forma, esta pesquisa utiliza o *Methodi Ordinatio*, proposto por Pagani *et al.* (2015) para mapear os estudos que podem oferecer o conteúdo sobre riscos da Indústria 4.0. Esta metodologia faz uma priorização dos estudos a partir de três fatores: fator de impacto, ano de publicação e número de citações, conforme apresentado na Figura 1.

**Figura 1 - Passos para Realizar a Methodi Ordinatio**

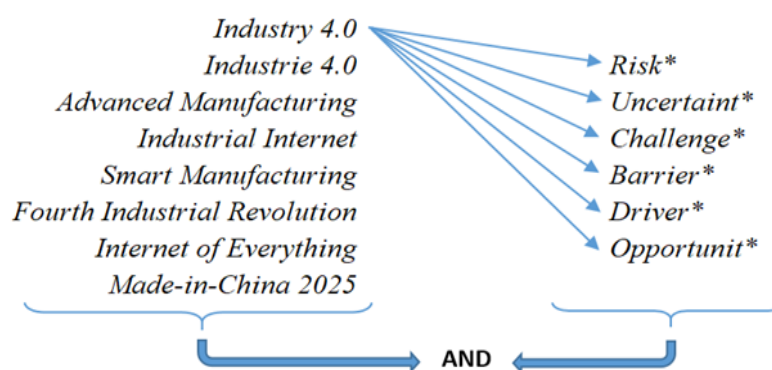


Fonte: Pagani *et al.* (2015).

O levantamento dos estudos através destes passos foi realizado em janeiro de 2019 sem uma data de início, abordando todo portfólio até a data de mapeamento. A intenção de pesquisa foi determinada como "estudar os riscos da Indústria 4.0 no contexto industrial" concluindo o primeiro passo. A pesquisa exploratória foi então realizada para definir possíveis palavras-chave chegando em dois eixos principais: "Industry 4.0" AND "risk". Estes eixos foram variados em termos similares também encontrados na

pesquisa exploratória. As variações para "Industry 4.0" foram baseadas em termos que descrevessem desenvolvimentos tecnológicos e pudessem conter informações sobre os possíveis riscos das novas tendências tecnológicas. As variações de "risk" foram baseadas na definição de risco da ISO:31000: "risco é o efeito da incerteza sobre os objetivos", assim, termos que demonstrassem algum grau de incerteza foram usados como variantes para este eixo. Com as palavras-chave, foi possível construir 48 combinações, como ilustrado na Figura 2.

**Figura 2 - Combinação de Palavras-chave**



Fonte: Dos Autores (2020)

As combinações de palavras-chave definidas foram então aplicadas em duas bases de dados selecionadas devido a retornarem grande quantidade de artigos durante a pesquisa: *Web of Science* e *Scopus*. Esta etapa de estudo gerou um número bruto de 7772 artigos dos quais informações como título e resumo foram extraídas, analisados e filtrados conforme os critérios apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Etapas para Seleção do Portfólio**

ETAPAS	ARTIGOS EXCLUÍDOS	RESTANTE
Número Bruto de Artigos	-	7772
Exclusão por duplicatas	4582	3190
Exclusão de Livros e Capítulos de Livro	102	3088
Exclusão pela leitura de títulos	1842	1246
Exclusão pela leitura dos resumos	1134	112
Exclusão pela leitura dos artigos completos	66	66
<b>Total</b>		<b>66</b>

Fonte: Dos autores (2020)

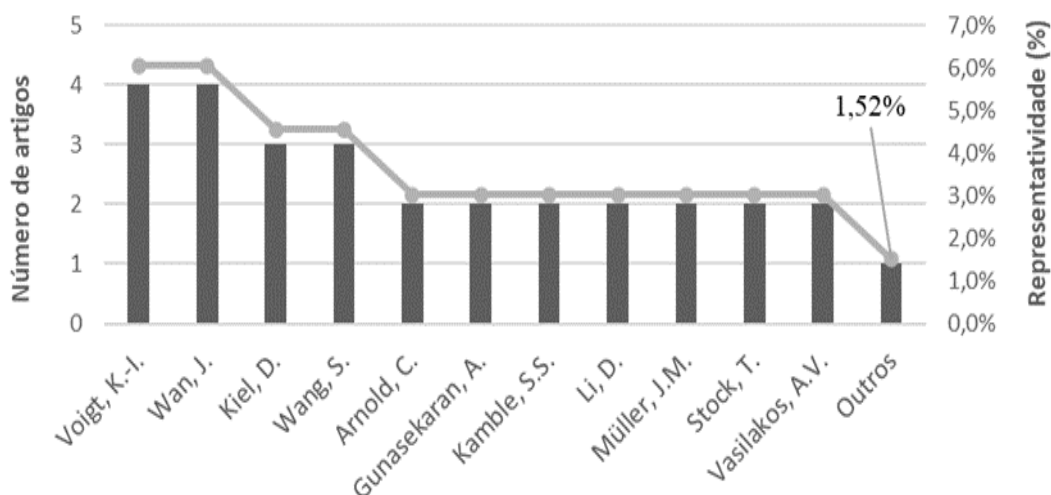
Após as filtragens, os 66 artigos finais foram adquiridos na íntegra para construção desta pesquisa. A etapa 6 de levantamento de informações sobre os artigos não foi aplicada devido a esses dados serem utilizados para ranqueamento dos artigos na etapa 7, a qual também não foi realizada, pois o portfólio final foi integralmente utilizado não foi necessário uma priorização dos estudos.

Assim, os artigos finais foram estudados para entender como os riscos provenientes da Indústria 4.0 aparecem na literatura. Estes riscos foram discutidos na pesquisa de Soltovski *et al.* (2019) que os distribui em 28 unidades e quatro dimensões: Econômica, Social, Ambiental e Tecnológica. Nesta pesquisa, buscou-se entender de forma quantitativa como estes riscos se distribuem dentro do portfólio literário estudado, além de trazer contribuições gerenciais e acadêmicas para enriquecer este assunto.

### 3.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Na Figura 3 está a relação dos autores de maior relevância para este estudo relativos ao número de artigo em que se mostram presentes. Verifica-se uma certa pulverização dos autores, pois os que apresentam maior porcentagem de representatividade (K.-I. Voigt e J. Wan) possuem um valor de apenas 6,06 % cada. Além disso, a maior quantidade de autores, mais especificadamente 185 deles, possui participação em apenas um único trabalho representando 1,52 % cada um.

**Figura 3 - Autores com Maior Relevância**

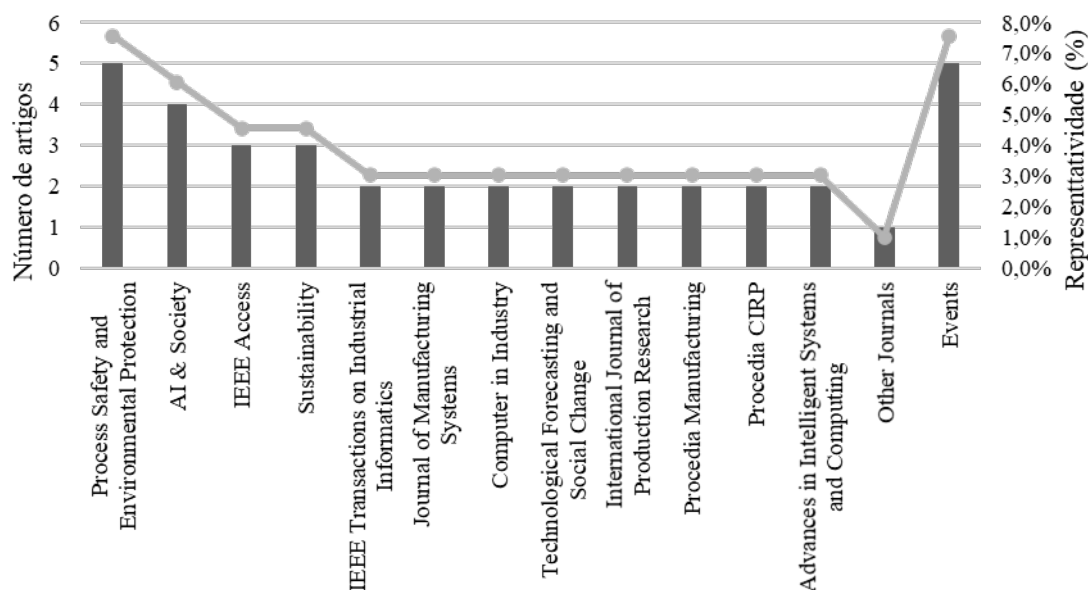


Fonte: Dos autores (2020)

Esta pulverização de estudos também pode ser verificada pelos periódicos de maior relevância (Figura 4). O Journal de maior representatividade (*Process Safety and Environmental Protection*) possui

porcentagem de participação de apenas 7,57% com 5 artigos. Além disso, somando-se o número de artigos publicados em eventos, também foi possível o mesmo quantitativo.

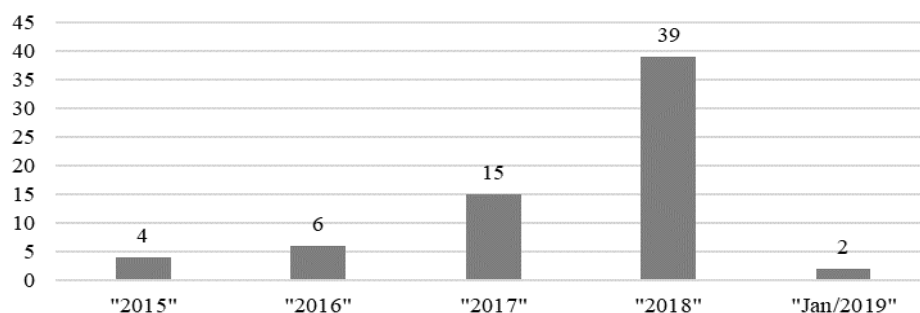
**Figura 4 - Periódicos com Maior Relevância**



Fonte: Dos autores (2020)

Em relação a distribuição dos artigos de acordo com sua data de publicação (Figura 5), verifica-se uma tendência crescente de estudos. Assim, é possível perceber que preocupações com os desafios da nova revolução industrial estão sendo cada vez mais colocados em pauta com o passar dos anos. Isso pode ser uma consequência da popularidade que o assunto tem tomado a medida que a tecnologia e avanço competitivo através dela vem sendo cada vez mais discutida.

**Figura 5 - Publicações com o Passar dos Anos**



Fonte: Dos autores (2020)

Pela Figura 5, visualiza-se o ápice de publicações no ano de 2018. Porém, por se tratar de um estudo realizado em janeiro de 2019, pode-se concluir que mais trabalhos podem ter sido publicados ao longo do ano, por ser um assunto ainda em investigação da comunidade científica.

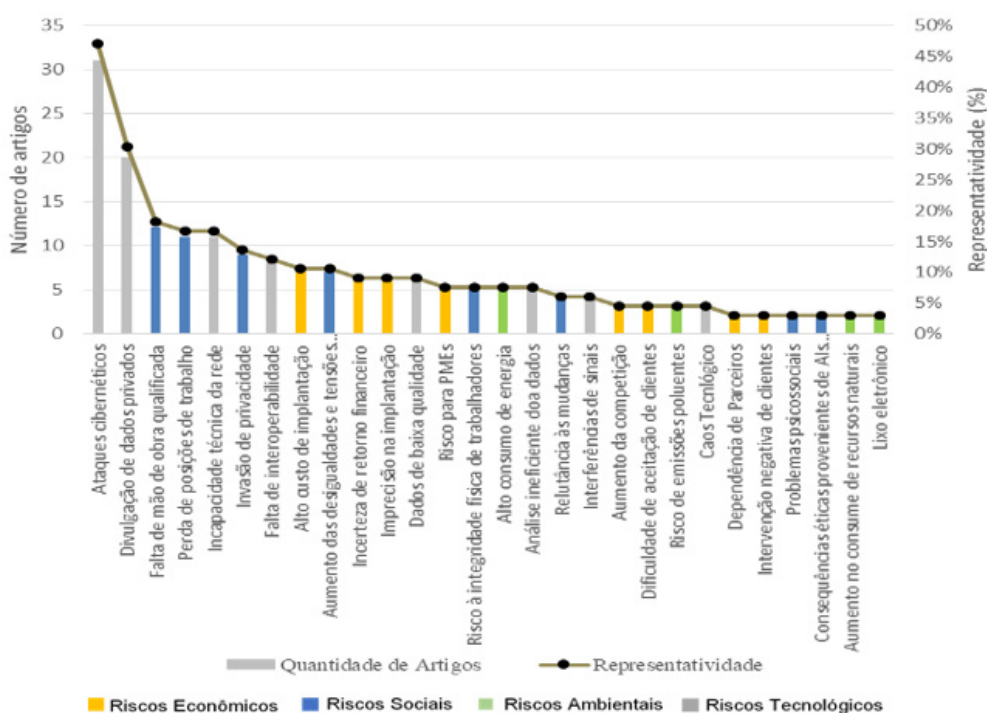
## 4 ESTUDO QUANTITATIVO DOS RISCOS DA INDÚSTRIA 4.0

A partir dos riscos mapeados na pesquisa de Soltovski *et al.* (2019), são a seguir estudados de forma quantitativa e entender um pouco mais sobre sua representatividade no portfólio de artigos e quais informações podem ser construídas a partir deste estudo.

### 4.1 REPRESENTATIVIDADE DOS RISCOS

Baseado no estudo da literatura selecionada nesta pesquisa, foi possível realizar um estudo de representatividade dos riscos. Neste estudo, verificou-se quais riscos mais aparecem dentro do portfólio estudado. A Figura 6 traz um ranqueamento de acordo com o número de artigos que cada risco esteve presente.

Figura 6 - Representatividades dos Riscos



Fonte: Dos Autores (2020)

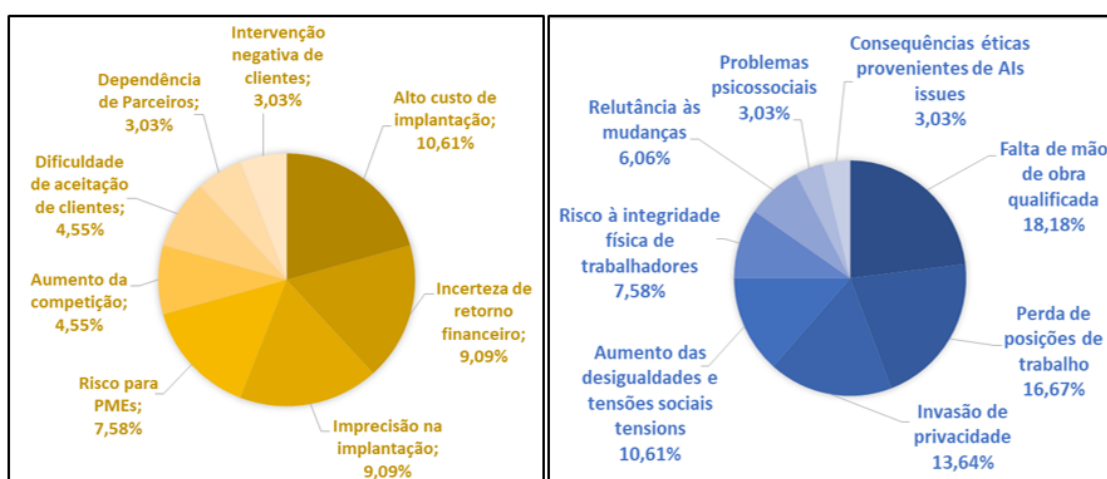
Com base na Figura 6, é possível perceber uma concentração maior de riscos tecnológicos nas primeiras posições. Questões relacionados com segurança cibernética são os mais comentados. O risco de ataque cibernético esteve presente em 46,97% dos artigos e o risco de divulgação de dados privados em 30,30%. Ao mesmo tempo, podemos ver as questões ambientais nas posições mais abaixo do *ranking*, como por exemplo o aumento do consumo de recursos naturais e o aumento de lixo eletrônico, ambos com apenas 3,03% de representatividade.

É possível perceber também que a segunda maior preocupação da literatura estudada são questões sociais onde podemos ver o risco de mão-de-obra qualificada com 18,18% de representatividade na terceira posição, seguido pelo risco de perda de emprego com 16,67%. Posterior, verifica-se o risco de invasão de privacidade (13,64%).

A dimensão econômica aparece apenas na posição 8 do ranqueamento com o alto custo de implantação (10,61%). Outras questões financeiras que aparecem logo após na decima posição é o retorno financeiro incerto com representatividade 9,09%, igualmente posicionada com o risco de planejamento relacionado a imprecisão na implantação da Indústria 4.0 (9,09%). Os riscos econômicos menos comentados são a intervenção negativa de clientes e dependência de parceiros, ambos com 3,03%.

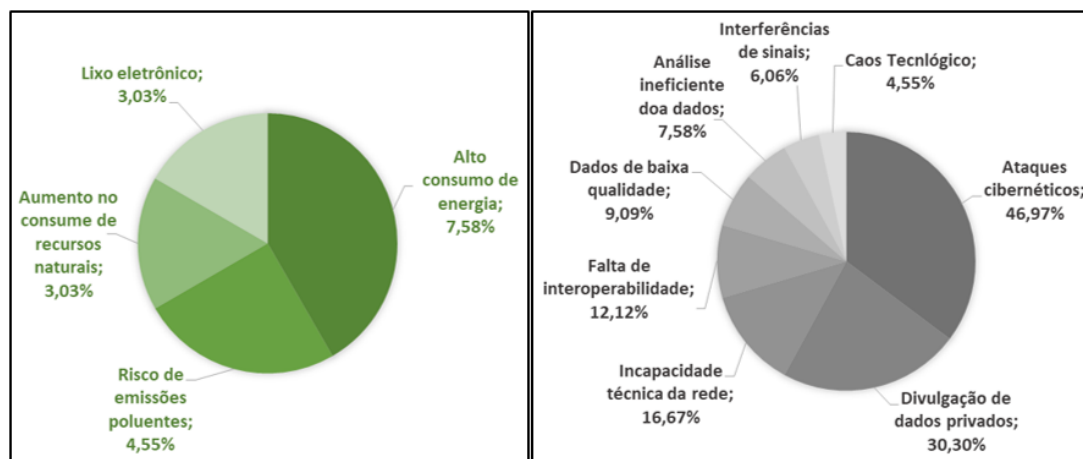
Assim, podemos dispor as dimensões em ordem decrescente de acordo com a representatividade da seguinte forma: Tecnológica, Social, Econômica e, por fim, a ambiental. De forma separada, a Figura 7 traz as dimensões apenas com seus riscos para melhor identificação do posicionamento em cada uma delas.

**Figura 7 - Representatividade dos riscos separados por dimensões**



**(a) Riscos Econômicos**

**(b) Riscos Sociais**



(c) Riscos Ambientais

(d) Riscos Tecnológicos

Fonte: Autores (2020)

Os gráficos apresentados na Figura 7 são utilizadas para discussão em torno da perspectiva de forma isolada, que são abordados nos subtópicos a seguir.

#### 4.1.1 Perspectiva Econômica

Analisando apenas a dimensão econômica (Figura 7a) é possível perceber um receio quanto aplicações na Indústria 4.0 que ainda possuem muitas incertezas. Como comentando anteriormente, o risco que mais se mostrou presente foi o alto custo de implantação (10,61 %) trazendo uma grande preocupação com o montante financeiro que pode ser aplicado devido complexa infraestrutura exigida pelas tecnologias envolvidas na Indústria 4.0 (KIEL *et al.*, 2017; KAMBLE *et al.*, 2018; MOKTADIR, 2018; LUTHA; MANGLA, 2018). Somando-se a isso, o risco seguinte descreve a incerteza que estes investimentos podem retornar em lucratividade (9,09 %) ao mesmo tempo que empresas podem ter certas imprecisões na implementação dessas tecnologias (imprecisão da implantação – 9,09%).

A questão seguinte é o fato de pequenas e médias (PME) empresa poderem se tornar vítimas ao invés de beneficiárias da Quarta Revolução Industrial (Risco para Pequenas e Médias Empresas – 7,58%) (SOMMER, 2015). Isso é um ponto de atenção devido ao fato de essas PMES poderem não estar bem preparadas para as mudanças tecnológicas quanto as grandes companhias. No entanto, PMEs podem fazer parte da cadeira de valor das empresas de maior porte, assim, como comenta Sommer (2015), não



é interessante ampliar a diferença estes dois grupos empresariais. Essa diferença de avanço tecnológico pode afetar a cadeia de valor com um todo.

O aumento de competitividade e a dificuldade de aceitação dos clientes aparecem juntos com 4,55% de representatividade sobre o total do portfólio estudado. As novas tecnologias podem trazer uma facilitação para entrada de novos players de mercado devido a integração de empresas de diferentes setores e regiões geográficas (XU *et al.*, 2018), ao passo que clientes podem não estar dispostos a pagar pelos novos serviços oferecidos (SCHNEIDER, 2018). Dessa forma, entender a proporcionalidade de aumento de players com o interesse e demanda do cliente é um ponto a ser entendido.

Por fim, ainda há uma pequena representatividade de riscos relacionados à dependência de parceiros e intervenções negativas de clientes (3,03%). O primeiro descreve a possibilidade de as empresas ficarem dependentes de fornecedores detentores de conhecimento técnico (MÜLLER *et al.*, 2018; SCHNEIDER, 2018). O segundo esta relacionado com o alto grau de personalização que clientes podem ter sobre um produto. Os clientes poderão intervir e ajustar especificações não apenas antes da finalização de um pedido, mas também durante o projeto, fabricação, montagem e teste (LI; HOU; WU, 2017), incorporando também mudanças de última hora possibilitando customização em massa (PILLONI, 2018). Essas mudanças podem gerar problemas no processo produtivo.

#### **4.1.2 Perspectiva Social**

Entre os riscos sociais, a questão mais comentada na literatura é o risco de falta de mão de obra qualificada com representatividade de 18,18% sobre o portfólio total de artigos, seguido pelo risco de perda de posições de trabalho com 16,67%. Isso pode estar relacionado com a grande discussão referente ao aprimoramento da mão de obra como sendo uma das maiores barreiras no contexto da Quarta Revolução Industrial (KAMBLE *et al.*, 2018). Neste cenário, não apenas a falta de mão de obra qualificada pode ser uma desafio para empresas (LI *et al.*, 2017), mas também é um alerta para profissionais que procuram se manter no mercado de trabalho devido à preocupação sobre substituições de mão de obra por tecnologias (LI *et al.*, 2017; FREDDI, 2018). Apesar disso, essa ameaça ao mercado de trabalho por máquinas é um assunto discutível, pois ao mesmo tempo que ocupações profissionais correm riscos, novas podem surgir (CARUSO, 2017; HIRSCHI, 2018; SALENTO, 2018).

A invasão de privacidade é o terceiro risco em maior evidências dentro do contexto social (13,64%). Para Roblek *et al.* (2016), preocupações com privacidade e segurança pessoal começam a surgir a partir da apropriação de dados facilitada pelas novas tecnologias.

Na sequência, vemos impactos para um contexto mais abrangente que relaciona toda uma sociedade a partir do risco de desigualdades e tensões sociais com 10,61% de representatividade. Uma

menor parcela de pessoas com maior qualificação, por exemplo, pode ocupar as vagas de trabalho de alta exigência técnica (CARUSO, 2017). Além disso, num cenário global, se a disseminação da Indústria 4.0 não for feita de forma geograficamente homogênea, haverá nichos de países desfavorecidos, e um aumento da diferença entre países desenvolvidos e subdesenvolvidos pode aumentar (BONILLA *et al.*, 2018).

Preocupações relacionadas aos trabalhadores aparecem novamente nas posições seguintes com os riscos à integridade física de funcionários (7,58%), risco de relutância a mudanças (6,06 %) e riscos psicossociais (3,03%). O contato de trabalhadores com as novas tecnologias pode trazer preocupações com colisões provenientes de robôs colaborativos (Robla-Gómez *et al.*, 2017; Gobbo Junior *et al.*, 2018). Além disso, as grandes mudanças geradas pela Indústria 4.0 podem enfrentar resistência de trabalhadores (DE SOUZA JABBOUR *et al.*, 2018), os quais podem ver as pressões causadas por estas mudanças de maneira negativa e gerar problemas psicossociais (BADRI *et al.*, 2018).

Por fim, questões ético-legais podem surgir através da capacidade de decisão de máquinas inteligentes (TADDEO; FLORIDI, 2018; WINFIELD *et al.*, 2019), representadas pelo risco de última posição (3,03%). Um desafio é a questão da responsabilização ética das consequências causadas por erros provenientes de ações de inteligências artificiais, na qual é discutível como e a quem o erro deve ser atribuído (TADDEO; FLORIDI, 2018; WINFIELD *et al.*, 2019).

#### **4.1.3 Perspectiva Ambiental**

As questões ambientais estão muito ligadas a problemas de alto consumo de recursos. O aumento do consumo de energia (7,58%) e recursos naturais (3,03%) podem acontecer tanto produção das novas tecnologias que serão utilizadas pelas empresas que pretendem se integrar ao contexto da Indústria 4.0 (Bonilla *et al.*, 2018), quanto para operação dessas tecnologias (e.g. processamento de dados, redução de latência de internet) (BONILLA *et al.*, 2018; STOCK *et al.*, 2018).

O consumo de recursos também pode gerar problemas de emissões (4,55%), que, segundo Stock *et al.* (2018) e Moktadir *et al.* (2018), grandes quantias de gases do efeito estufa pode ser emitidos na geração de energia para processamento de data centers. Além disso, a geração de lixo eletrônico (3,03 %) devido a substituição de maquinários obsoletos por equipamentos novos (BONILLA *et al.*, 2018) aparece em última posição.

Outro ponto que pode ser observado é fato de apenas quatro riscos ambientais terem sido mapeados. Dessa forma, podemos perceber que há poucos estudos voltados a questões ambientais dentro do contexto da Indústria 4.0.

### 4.1.3 Perspectiva Tecnológica

Do ponto de vista tecnológico, os riscos em sua maioria destacam questões de conectividade. Ataques cibernéticos (49,97 %), divulgação de dados privados (30,30 %), problemas técnicos de rede (16,67%), interferências de sinal (6,06%) e Caos Tecnológico (4,55%) são exemplos disso. Isso pode estar ligado a crescente utilização de tecnologias de conexão como o a IoT, um dos principais conceitos da Indústria 4.0 (LEZZI *et al.*, 2018), a qual descreve a utilização de tecnologias para integração e conectividade entre todos os agentes envolvidos no processo produtivo.

No entanto, também é possível verificar problemas de falta de interoperabilidade entre equipamentos e sistemas (12,12%). As redes industriais a partir dos conceitos da indústria 4.0 serão altamente heterogêneas, com diversas tecnologias diferentes (KALØR *et al.*, 2018) como máquinas, sensores, CPSs, dispositivos IoT, etc (KHAN *et al.*, 2017). Neste contexto, um grande desafio é o estabelecimento de uma integração e interoperabilidade contínua entre essas vertentes tecnológicas (KAMBLE *et al.*, 2018).

O *Big Data Analytics* (BDA) também se mostra como uma abordagem importante para o cenário da Quarta Revolução Industrial. Foram encontradas duas dificuldades gerados pelo grande montante de informações provenientes de um ambiente de alta conectividade: o risco de baixa qualidade de dados (9,09 %) e a possibilidade de ineficiência nas análises destas informações (7,58%). A obtenção de dados proveitosos dentro do grande maciço de informações pode ser um desafio (LI *et al.*, 2017). Além disso, informações não desejadas podem prejudicar um correto processamento e análise dos dados (UR REHMAN, 2018).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo da pesquisa foi trazer um panorama da distribuição dos riscos provenientes da Indústria 4.0 no setor manufatureiro dentro da literatura. Dentro de nosso conhecimento, e do próprio portfólio bibliográfico, não foram encontrados estudos com abordagem principal relacionada aos pontos negativos da indústria 4.0. Tema este escasso entre os pesquisadores, onde o maior interesse acadêmico é voltado para as os benefícios e vantagens (PICAROZZI *et al.*, 2018).

Um primeiro panorama foi construído através análise básica do portfólio literário que demonstrou quais autores e periódicos que mais tiveram representatividade dentro do levantamento realizado relacionando "indústria 4.0" e "riscos". Percebeu-se uma pulverização dos estudos sobre o tema em questão, mostrando que é um assunto novo e de grande importância para os pesquisadores.

Logo em seguida, baseado nos riscos mapeados por Soltovski e al. (2019), o estudo quantitativo de representatividade permitiu entender quais são os riscos mais discutidos e em evidência na literatura no período estudado, tanto numa visão geral como em perspectivas específicas (econômica, social, ambiental e tecnológica). Este estudo trouxe contribuições para agenda de pesquisa resumizando implicações para futuros trabalhos relacionados a riscos da Indústria 4.0.

Algumas contribuições podem ser destacadas. As incertezas econômicas das novas tecnologias em evidência através do conceito da Indústria 4.0, trazem dois pontos de conexão. Ao mesmo tempo que as tecnologias podem necessitar de grandes investimentos (KIEL *et al.*, 2017; KAMBLE *et al.*, 2018; MOKTADIR, 2018; LUTHA; MANGLA, 2018), também são incertas quanto ao seu retorno financeiro (KAMBLE *et al.*, 2018). Neste contexto, existe a preocupação em como atingir o cliente de forma positiva e entender quais serviços estão dispostos a pagar (SCHNEIDER, 2018). Isso pode exigir cautela na aplicação dos novos conceitos tecnológicos.

Em relação as Pequenas e Médias Empresas, entender melhor como parceiras de menor porte pode ser afetadas é uma questão que merece atenção, pois pode ser essencial para o desenvolvimento tecnológico de toda a cadeia de fornecimento. Isso é ainda reforçado pela possibilidade da Indústria 4.0 trazer como um de seus benefícios, uma maior integração vertical e horizontal entre empresas (KIEL *et al.*, 2017). Assim, todos os agentes da cadeia precisam estar alinhados.

A questão que envolve os trabalhadores pode trazer pontos que gerentes de recursos humanos precisarão avaliar. O desenvolvimento de mão de obra qualificada pode enfrentar desafios dentro e fora dos limites empresariais. Internamente, haverá a necessidade de desenvolver profissionais que podem ser relutantes às mudanças (DE SOUZA JABBOUR *et al.*, 2018), e também necessitarão entender quais riscos ocupacionais os trabalhadores estarão expostos (ROBLA-GÓMEZ *et al.*, 2017; GOBBO JUNIOR *et al.*, 2018). Externamente, o mercado pode não fornecer profissionais suficientes para preencher as lacunas de conhecimento técnico exigidos (LI *et al.*, 2017).

A alta conectividade proveniente de conceitos como a *Internet of Things*, traz pontos de alerta para gerentes. O risco de ataques cibernéticos e questões de privacidade de dados (primeiros colocados entre os riscos), colocam a questão de segurança cibernética como uma das prioridades para o contexto da Indústria 4.0. Apesar disto, outros riscos envolvendo a conectividade precisam de atenção como, a interferência de sinais, problemas técnicos de rede e caos tecnológico. Além disso, a análise de *Big Data* é um assunto que aparece como ponto importante dentro deste meio de tecnologias conectadas. Isto proporcionará cada vez mais dados em quantidades sem precedentes que precisam ser analisados (LI *et al.*, 2017; KIRCHEN *et al.*, 2017).

Além disso, de um ponto de vista prático, este estudo auxilia gerentes indústrias no enfrentamento dos desafios que podem surgir no contexto da Indústria 4.0 nos mais diferentes pontos de vista. As implicações gerenciais, também sumarizadas, indicam pontos de alerta que empresas devem estar atentas no contexto tecnológico. Neste cenário, uma abordagem de gestão de riscos como a ISO:31000 pode ser aplicada e os riscos podem ser eliminados ou mitigados, possibilitando a construção de uma estratégia de implementação das novas tecnologias.

Podemos destacar algumas limitações da pesquisa. Primeiramente, foram utilizadas apenas artigos em inglês e extraídos de apenas dois bancos de dados (Scopus e Web of Science). De um ponto de vista de completude, mais artigos poderiam ser analisados para verificar a relevância dos riscos na literatura utilizando mais bases de dados e outros idiomas. Outra limitação está relacionada a escolha de apenas quatro perspectivas para discutir os riscos, mais perspectivas como a cultural e de saúde poderiam ser abordadas. Apesar das limitações, este trabalho contribui para o progresso acadêmico trazendo novas frentes de pesquisa, tornando-se ponto de partida para pesquisadores sobre o assunto em exponencial interesse da Indústria 4.0.

Como proposta de estudo futuro, sugere-se uma ferramenta para mensurar esses riscos nas empresas inseridas no contexto da Indústria 4.0. Essa ferramenta pode auxiliar os gestores a mensurar o nível de risco da empresa, possibilitando elaborar um plano de resposta a risco.

## REFERÊNCIAS

BADRI, A.; BOUDREAU-TRUDEL, B.; SOUISSI, A. S. Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? **Safety Science**, 109, 403-411, 2018.

BARRETO, L.; AMARAL, A.; PEREIRA, T. Industry 4.0 implications in logistics: an overview. **Procedia Manufacturing**, 13, 1245-1252, 2017.

BONILLA, S. H.; SILVA, H. R. O.; TERRA DA SILVA, M.; Gonçalves Franco, R.; Sacomano, J. B. Industry 4.0 and Sustainability Implications: A Scenario-Based Analysis of the Impacts and Challenges. **Sustainability** 10. (10), 3740, 2018.

BUER, S.-V., STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. T. S. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. **International Journal of Production Research** 56 (8), 2924-2940, 2018.

CARUSO, L. Digital innovation and the fourth industrial revolution: epochal social changes? **AI & SOCIETY** 33, 3, 379-392, 2018.

CHEN, B.; WAN, J.; SHU, L.; LI, P.; MUKHERJEE, M.; YIN, B. Smart factory of industry 4.0: key technologies, application case, and challenges. **IEEE Access** 6, 6505-6519, 2017.

DAI, J.; VASARHELYI, M. A. Imagineering Audit 4.0. **Journal of Emerging Technologies in Accounting** 13 (1), 1-15, 2016.

DAWSON, M. Cyber security policies for hyperconnectivity and Internet of Things: a process for managing connectivity. **Information Technologynew Generations**, 911- 914. Cham: Springer, 2018.

DE SOUZA JABBOUR, A. B. L.; JABBOUR, C. J. C.; FOROPON, C.; GODINHO FILHO, M. When titans meet– Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. **Technological Forecasting and Social Change**, 132: 18-25, 2018.

ELKINGTON, J. Accounting for the triple bottom line. **Measuring Business Excellence**, 2, 18-22, 1998a.

ELKINGTON, J. Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business. **Environmental quality management**, 8, 1, 37-51, 1998b.

FONSECA, L. M. Industry 4.0 and the digital society: concepts, dimensions and envisioned benefits. *In: Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, 386-397. Sciendo, 386-397, 2018.

FOIDL, H.; FELDERER, M. Research challenges of industry 4.0 for quality management. *In: International Conference on Enterprise Resource Planning Systems*. Springer, Cham, 121-137, 2015.

FREDDI, D. Digitalisation and employment in manufacturing. **AI & SOCIETY**, 33, 3, 393-403, 2018.

GAO, R.; WANG, L.; TETI, R.; DORNFELD, D.; KUMARA, S.; MORI, M.; HELU, M. Cloud-enabled prognosis for manufacturing. **CIRP annals**, 64, 2, 749-772, 2015.

JUNIOR, J. A. G.; BUSSO, C. M.; GOBBO, S. C. O.; CARREÃO, H. Making the links among environmental protection, process safety, and industry 4.0. **Process Safety and Environmental Protection**, 117, 372-382, 2018.

HE, H.; MAPLE, C.; WATSON, T.; TIWARI, A.; MEHNEN, J.; JIN, Y.; GABRYS, B. The security challenges in the IoT enabled cyber-physical systems and opportunities for evolutionary computing & other computational intelligence. *In: 2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*. 1015-1021. IEEE, 2016.

HIRSCHI, A. The fourth industrial revolution: Issues and implications for career research and practice. **The Career Development Quarterly**, 66, 3, 192-204, 2018.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. **Working Paper**. Dortmund, 3-16. 2015.

IVANOV, D.; DOLGUI, A.; SOKOLOV, B. The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. **International Journal of Production Research**, 1-18, 2018.

JANSEN, C.; JESCHKE, S. Mitigating risks of digitalization through managed industrial security services. **AI & SOCIETY**, 33, 2, 163-173, 2018.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. **Working Group**. Forschungsunion, 2013.

KALØR, A. E.; GUILLAUME, R.; NIELSON, J. J.; MUELLER, A.; POPOVSKI, P. Network slicing in industry 4.0 applications: Abstraction methods and end-to-end analysis. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, 14, 12, 5419-5427, 2018.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; SHARMA, R. Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. **Computers in Industry**, 101, 107-119, 2018.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; GAWANKAR, S. A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, 117, 408-425, 2018.

KIEL, D.; MULLER, J. M.; ARNOLD, C.; VOIGT, K. I. Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. **International journal of innovation management**, 21, 08, 2017.

KIEL, D.; ARNOLD, C.; VOIGT, K. I. The influence of the Industrial Internet of Things on business models of established manufacturing companies—A business level perspective. **Technovation**, 68, 4-19, 2017.

KIRCHEN, I.; SCHUTZ, D.; FOLMER, J.; VOGEL-HOEUSER, B. Metrics for the evaluation of data quality of signal data in industrial processes. *In: IEEE 15th international conference on industrial informatics*. **IEEE**, 819-826, 2017.

KHAN, M.; WU, X.; XU, X.; DOU, W. Big data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0. *In: IEEE international conference on communications*. **IEEE**, 1-6, 2017.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H. G.; FELD, T.; Hoffmann, M. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering** 6, 239-242, 2014.

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

LEZZI, M.; LAZOI, M.; CORALLO, A. Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework. **Computers in Industry**, 103, 97-110, 2018.

LI, X.; LI, D.; WAN, J.; VASILAKOS, A. V.; LAI, C. F.; WANG, S. A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0. **Wireless networks**, 23, 1, 23-41, 2017. Doi: doi.org/10.1007/s11276-015-1133-7.

LI, G.; HOU, Y.; WU, A. Fourth Industrial Revolution: technological drivers, impacts and coping methods. **Chinese Geographical Science**, 27, 4, 626-637, 2017.

LIAO, Y.; LOURES, E. R.; DESCHAMPS, F.; BREZINSKI, G.; VENÂNCIO, A. The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country / region comparison. **Production**, 28, 2018.

LIAO, Y.; DESCHAMPS, F.; LOURES, E. D. F. R.; RAMOS, L. F. P. Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. **International journal of production research**, 55, 12, 3609-3629, 2017.

LUTHRA, S.; MANGLA, S. K. Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. **Process Safety and Environmental Protection**, 117, 168-179, 2018.

DE MAN, J. C.; STRANDHAGEN, J. O. An Industry 4.0 research agenda for sustainable business models. **Procedia Cirp**, 63, 721-726, 2017.

MAYNARD, A. D. Navigating the fourth industrial revolution. **Nature nanotechnology**, 10, 12, 1005, 2015.

MOKTADIR, M. A.; ALI, S. M.; KUSI-SARPONG, S.; SHAIKH, M. A. A. Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. **Process Safety and Environmental Protection**, 117, 730-741, 2018.

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**, 132, 2-17, 2018.

MÜLLER, J. M.; KIEL, D.; VOIGT, K. I. What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. **Sustainability**, 10, 1, 247, 2018.



ÖZDEMIR, V. The dark side of the moon: the internet of things, industry 4.0, and the quantified planet. **Omics: a journal of integrative biology**, 22, 10, 637- 641, 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 95 factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, 105, 3, 2109-2135, 2015.

PICCAROZZI, M.; AQUILANI, B.; GATTI, C. Industry 4.0 in management studies: A systematic literature review. **Sustainability**, 10, 10, 3821, 2018.

PILLONI, V. How data will transform industrial processes: Crowdsensing, crowdsourcing and big data as pillars of Industry 4.0. **Future Internet**, 10, 3, 24, 2018.

PREUVENEERS, D.; ILIE-ZUDOR, E. The intelligent industry of the future: A survey on emerging trends, research challenges and opportunities in Industry 4.0. **Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments**, 9, 3, 287-298, 2017.

RADANLIEV, P.; DE ROURE, D.; CANNADY, S.; MONTALVO, R. M.; NICOLESCU, R.; HUTH, M. Economic impact of IoT cyber risk—analysing past and present to predict the future developments in IoT risk analysis and IoT cyber insurance. *In: Living in the internet of things: cybersecurity of the iot. IET Conference Publications*, London. 1-9. 2018.

RAIZER, L. Transformações de um mundo globalizado. **Gestão e Desenvolvimento**, Novo Hamburgo, ano XI, v. 11, n. 1, p. 164-165, jan. 2014.

RAJNAI, Z.; KOCSIS, I. Labor market risks of industry 4.0, digitization, robots and AI. *In: 2017 IEEE 15th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY)*. IEEE, 343-346, 2017.

REISCHAUER, G. Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize innovation systems in manufacturing. **Technological Forecasting and Social Change** 13: 26-33.

ROBLA-GÓMEZ, S.; BECERRA, V. M.; LLATA, J. R.; GONZALEZ-SARABIA, E.; TORRE-FERRERO, C.; PEREZ-ORIA, J. Working together: A review on safe human-robot collaboration in industrial environments. **IEEE Access**, 5, 26754-26773, 2017.

ROBLEK, V.; MEŠKO, M.; KRAPEŽ, A. A Complex View of Industry 4.0. **Sage Open**, 1-11, 2016.

ROMERO, D.; MATTSSON, S.; FAST-BERGLUND, Å.; WUEST, T.; GORECKY, D.; STAHRÉ, J. Digitalizing Occupational Health, Safety and Productivity for the Operator 4.0. *In: IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*. Springer, Cham, 473-481, 2018.

SALEEM, J.; HAMMOUDEH, M.; RAZA, U.; ADEBISI, B.; ANDE, R. IoT standardisation: challenges, perspectives and solution. *In: Proceedings of the 2nd International Conference on Future Networks and Distributed Systems*. ACM, 1-9, 2018.

SAUCEDO-MARTÍNEZ, J. A.; PÉREZ-LARA, M.; MARMOLEJO-SAUCEDO, J. A.; SALAIS-FIERRO, T. E.; VASANT, P. Industry 4.0 framework for management and operations: a review. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-13, 2018.

SILVA, M. R. S.; OLAVE, M. E. L. Contribuições das tecnologias digitais associadas à indústria 4.0 para a formação profissional. *Revista Gestão e Desenvolvimento*, v. 17, n. 2, p. 82-110, 2020.

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, 4724-4734, 2018.

SOLTOVSKI, R.; RESENDE, L. M.; PONTES, J.; YOSHINO, T. D. Theoretical framework of the Industry 4.0 risks from sustainability perspective. *In: Proceedings of the 3rd International Symposium on Supply Chain 4.0: Challenges and Opportunities of Digital Transformation, Intelligent Manufacturing and Supply Chain Management 4.0*, ISSC4 - 2019, October 24-28th, Indianapolis, USA, 2019. Disponível em: <http://supplychain4.org/wp-content/uploads/2018/03/Proceedings-ISSC4-2019.pdf>.

SOMMER, L. Industrial revolution-industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution? *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8, 5, 1512-1532, 2015.

SCHWAB, K. 2017. "The fourth industrial revolution". *Crown Business*, 2017.

SCHMIDT, R.; MÖHRING, M.; HÄRTING, R. C.; REICHSTEIN, C.; NEUMAIER, P.; JOZINOVIĆ, P. Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results. *Business Information Systems*: 16-27.

SCHNEIDER, P. Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field. *Review of Managerial Science*, 12, 3, 803-848, 2018.

STOCK, T.; OBENAU, M.; KUNZ, S.; KOHL, H. Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 254-267, 2018.

STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia Cirp*, 40, 536-541, 2016.

STRANGE, R.; ZUCHELLA, A. Industry 4.0, global value chains and international business. **Multinational Business Review**, 25, 3, 174-184, 2017.

TADDEO, M.; FLORIDI, L. How AI can be a force for good. **Science**, 361, 6404, 751-752, 2018.

TUPA, J.; SIMOTA, J.; STEINER, F. Aspects of risk management implementation for Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, 11, 1223-1230, 2017.

TUPTUK, N.; HAILES, S. Security of smart manufacturing systems. **Journal of manufacturing systems**, 47, 93-106, 2018.

UR REHMAN, M. H.; AHMED, E.; YAQOOB, I.; HASHEM, I. A. T.; IMRAN, M.; AHMAD, S. Big data analytics in industrial IoT using a concentric computing model. **IEEE Communications Magazine**, 56, 2, 37-43, 2018.

WANG, S.; WAN, J.; LI, D.; ZHANG, C. Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, 12, 1, 2016.

WINFIELD, A. F.; MICHAEL, K.; PITT, J.; EVERS, V. Machine Ethics: The Design and Governance of Ethical AI and Autonomous Systems. **Proceedings of the IEEE**, 107, 3, 509-517, 2019.

WU, M.; SONG, Z.; MOON, Y. B. Detecting cyber-physical attacks in CyberManufacturing systems with machine learning methods. **Journal of intelligent manufacturing**, 30, 3, 1111-1123, 2019.

WU, D.; REN, A.; ZHANG, W.; FAN, F.; LIU, P.; FU, X.; TERPENNY, J. Cybersecurity for digital manufacturing. **Journal of manufacturing systems**, 48, 3-12, 2018.

XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research** 56, 2941-2962, 2018.

YAN, J.; MENG, Y.; LU, L.; LI, L. Industrial big data in an industry 4.0 environment: Challenges, schemes, and applications for predictive maintenance. **IEEE Access**, 5, 23484-23491, 2017.

ZHENG, P.; SANG, Z.; ZHONG, R. Y.; LIU, Y.; LIU, C.; MUBAROK, K.; XU, X. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. **Frontiers of Mechanical Engineering**, 13, 2, 137-150, 2018.

ZHOU, L.; YEH, K. H.; HANCKE, G.; LIU, Z.; SU, C. Security and Privacy for the Industrial Internet of Things: An Overview of Approaches to Safeguarding Endpoints. **IEEE Signal Processing Magazine**, 35, 5, 76-87, 2018.