

Contribuições da Indústria 4.0 nas Operações Sustentáveis a partir de uma Revisão Sistemática

YASMIN PIRES GONCALVES

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA (UFU)

ETIENNE CARDOSO ABDALA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA (UFU)

1. Introdução

As organizações de uma maneira geral necessitam desenvolver ações que resultem em operações sustentáveis, ou seja, atividades relacionadas ao processo de produção de bens ou serviços que minimizem a exploração de recursos naturais e propiciem a redução de resíduos gerados ao final do processo, possibilitando ainda o reaproveitamento destes. Ações como essas associadas a sustentabilidade encontram respaldo no estabelecimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que compõem uma ‘agenda’ de metas a serem cumpridas até 2030 por Organizações e Governos.

O cumprimento da agenda dos ODS da Organização das Nações Unidas (ONU) até 2030 e a pressão sofrida pelas organizações para uma produção mais limpa contribui para que haja uma relação significativa entre a indústria 4.0 e a sustentabilidade, buscando melhorar as condições ambientais desde a concepção dos produtos e até mesmo depois do consumo (LOZANO, 2012). De modo a alcançar melhores níveis de sustentabilidade, as organizações buscam por tecnologias capazes de garantir resultados significativos nos três níveis do *Triple Bottom Line* (econômico, social e ambiental).

Indústria 4.0 é o termo utilizado para se referir a estratégia de alta tecnologia desenvolvida na Alemanha e que está sendo aplicada à indústria. As tecnologias avançadas conseguem integrar o físico, o digital e o biológico, formando um sistema. As máquinas conseguem completar tarefas complexas devido a auto-otimização, auto-configuração e a inteligência artificial, a fim de serem eficientes e proporcionar bens ou serviços de melhor qualidade. (BAHRIN et al., 2016). A Quarta Revolução Industrial pretende aliar sistemas de controle cibernéticos (*Cyber-Physical Systems* - CPS) e internet, permitindo comunicação entre produtos e pessoas, sistemas artificiais e técnicos (ANDERL, 2014).

Por ser uma nova revolução, com diferentes propostas, é preciso estudar e compreender a velocidade e a amplitude da mesma. Existem no mundo diversos exemplos do que se tornará cada vez mais comum, como a inteligência artificial, robótica, veículos autônomos, impressão 3D, nanotecnologia, biotecnologia, entre outros (SCHWAB, 2016). Para Stock e Seliger (2016) as adaptações para informatizar máquinas mecânicas podem reduzir perdas de matéria prima e energia elétrica, bem como contribuir no fornecimento de dados sobre qualidade e produtividade.

No entanto, cada revolução industrial traz novos desafios, determinam novas abordagens dentro das organizações e trazem consigo uma incerteza nos desdobramentos das transformações geradas (PEREZ, 2010). Portanto, é necessário desenvolver estudos sobre a revolução tecnologia e buscar entender as ações que tornarão as operações sustentáveis, minimizarão a exploração de recursos naturais e a redução de resíduos gerados. Assim, o objetivo geral desta pesquisa é identificar e analisar a interação entre sustentabilidade e Indústria 4.0 e, indicar, quais as principais contribuições que a Indústria 4.0 pode trazer às organizações para que desenvolvam uma operação mais sustentável.

Para aprofundamento dos estudos já desenvolvidos sobre a temática da indústria 4.0 e sustentabilidade, foi realizada uma revisão sistemática das principais publicações científicas que relacionam os temas Indústria 4.0 e operações sustentáveis. De forma a considerar uma análise específica para a revisão, optou-se pelo método PRISMA que estabelece um conjunto de itens que contribuem para a análise dos autores, definindo um protocolo que envolve a descrição do objetivo, metodologia e resultados das pesquisas levantadas na revisão.

Os resultados encontrados nas diversas publicações indicam que as tecnologias desenvolvidas e utilizadas nas operações industriais e de serviços dentro da abordagem de indústria 4.0 causam impacto nas dimensões ambiental, econômico e social de maneiras distintas, contribuindo para alguns aspectos das operações sustentáveis. Entretanto, destaca-se

a necessidade de reflexão do espectro social dos impactos tecnológicos na organização do trabalho.

2. Referencial Teórico

2.1. Conceito de Indústria 4.0

A indústria passou por três revoluções, sendo a primeira com início no século XVIII e caracterizada pelos motores a vapor. A segunda com início no século XIX, em que se introduziu a eletricidade e os conceitos de produção em massa e linhas de montagem. Já a terceira revolução teve início no século XX e foi marcada pelo uso da tecnologia da informação e produção automatizada (SCHULES, 2018).

O relatório final sobre Indústria 4.0 foi apresentado em 2012, em uma feira na Alemanha. O fundamento básico seria a integração de máquinas, sistemas e ativos, o que torna possível redes inteligentes nos processos produtivos com o objetivo de aperfeiçoar os processos de manufatura. Com isso, haverá Indústrias Inteligentes ou *Smart Factories*, que serão autônomas e capazes de provocar mudanças necessárias nas produções, programar manutenções e prever falhas. Torna-se possível a comunicação entre uma máquina e outra, por meio de um sistema chamado M2M (*machine to machine*) que através das informações disponíveis (*big data*) é decidido o modo de produção (RIBEIRO, 2017).

O termo Indústria 4.0 descreve as transformações digitais que estão ocorrendo nas indústrias e que pode ser exemplificado por drones, robôs, sensores e impressão 3D. Os robôs vêm sendo feitos a alguns anos, porém o diferencial da indústria 4.0 é conectar essas tecnologias via sensores e outros elementos de controle, com o objetivo de associar o mundo real e o virtual, compondo os sistemas ciber-físicos (BLUNK; WERTHMANN, 2017).

Segundo CAVALCANTI et al., (2018) a indústria 4.0 possui seis princípios: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real, orientação a serviço e modularidade. Conforme o mesmo autor, interoperabilidade é a comunicação entre o homem e os equipamentos por meio da Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*). A virtualização é o monitoramento de todos os procedimentos que ocorrem na indústria por meio de sensores. A descentralização é possível por causa da virtualização, que permite operação a distância e, com isso, descentraliza a tomada de decisão e controla de acordo com as necessidades de produção em tempo real.

Existem nove pilares que sustentam a indústria 4.0, os quais são: *Big data* e análise de dados, robôs autônomos, simulação, integração de sistemas horizontal e vertical, a Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*), segurança cibernética, nuvem, fabricação de aditivos e realidade aumentada (PEREIRA; SIMONETTO, 2018). Na concepção de Hermann, Pentek e Otto (2015) há quatro componentes muito importantes na Indústria 4.0: Internet das Coisas, Sistemas Físico-Cibernéticos, Fábricas Inteligentes e Internet de Serviços. O único termo, dentre os quatro, ainda não citado e definido é Internet de Serviços (*IoS – Internet of Services*).

A abordagem de indústria 4.0 permeia os avanços tecnológicos em busca da digitalização dos processos industriais (Rojko, 2017) e se desenvolve na implementação de áreas estratégicas da indústria como a logística e a gestão de cadeia de suprimentos, trazendo benefícios desses avanços como a descentralização, a avaliação mais precisa da demanda, a redução do efeito chicote (Hoffman, Husch, 2017) e a gestão mais integrada e transparente das cadeias de suprimentos (WITKOWSKI, 2017).

2.2. Indústria 4.0 e Sustentabilidade nas Operações

As indústrias geram muita riqueza para um país, porém também são responsáveis pelo grande uso de recursos naturais e por serem uma atividade que geralmente polui muito. Devido a essas características, é de extrema importância que seja aplicada a sustentabilidade dentro das empresas (JAYAL et al., 2010). Segundo Rosen e Hishawy (2012), tornar uma manufatura sustentável é muito complexo, pois envolve fatores como tecnologia, engenharia, gestão ambiental, estratégias governamentais, entre outros.

Segundo Shafiq et al., (2015), Indústria 4.0 tem como definição a integração de máquinas e dispositivos com sensores e softwares, usados com o objetivo de prever, controlar e planejar resultados sociais e empresariais com maior qualidade. De acordo com Zhou, Liu e Zhou (2015) a indústria 4.0 é a integração de tecnologia industrial com tecnologia de informação e comunicação, com o objetivo de formar uma indústria digital e inteligente, com manufatura customizada e verde.

Basicamente, o objetivo principal da Indústria 4.0 é reforçar e expandir a competitividade organizacional a longo prazo, pelo aumento da flexibilidade e eficiência da produção por meio da comunicação, informação e inteligência. Esta ‘quarta’ revolução industrial leva a impactos dentro da organização, na tecnologia de fatores de produção, organização e funcionários; e também fora dela, no meio-ambiente e sociedade (GABRIEL e PESSL, 2016). Stock e Seliger (2016) argumentam que para além da contribuição ambiental, a indústria 4.0 apresenta uma ótima oportunidade para agregar criação de valor em sustentabilidade industrial, nas três dimensões: econômica, social e ambiental.

Para as empresas existem diversas barreiras para se tornar sustentável, como o alto custo de investimento e o tempo para obter retorno, falta de uma ferramenta que auxilie na avaliação de impacto ambiental, limitações em tecnologia, entre outros (ESMAELIAN et al., 2016). Com a Indústria 4.0, os empreendimentos poderão ser mais sustentáveis, pois essa revolução industrial trará novas tecnologias de produção, cultura organizacional e impactos fora das organizações (GABRIEL; PESSL, 2016).

Para Shules (2018) a indústria 4.0 causa impacto em cada um dos três pilares da sustentabilidade (social, ambiental e econômico). Com relação ao pilar social, tem-se diversos impactos como: diminuição do número de trabalhadores que executam atividades repetitivas e manuais, menor hierarquização dentro de empresas, aumento no desempenho dos trabalhadores, condições de trabalho menos exigentes fisicamente, entre outros.

O pilar ambiental da sustentabilidade tem como impactos a redução nas taxas de erros e conseqüentemente menos retrabalho, minimização dos defeitos de qualidade, melhoria na eficiência no uso de energia, diminuição dos índices de poluição e no consumo de recursos (matéria prima), entre outros. Por fim, tem-se os impactos relacionados ao pilar econômico da sustentabilidade. Estes são: produção de acordo com requisitos de cada cliente, maior investimento em pesquisas, aumento na produtividade, aumento na satisfação dos clientes, aumento na flexibilidade dos negócios, entre outros (SHULES, 2018).

A indústria 4.0 pode causar forte impacto sobre a sustentabilidade pelo fato de que torna mais eficiente o uso de recursos naturais e permite melhoria no uso de fontes de energia renováveis. É importante também ressaltar o grande impacto na parte econômica, pois com a automação é possível que aconteça uma diminuição no número de pessoas trabalhando dentro das empresas, visto que muitas funções passariam a ser realizadas por máquinas (BEIER et al. (2017)). Este ponto em específico pode causar conflito em termos sociais, pela possível indução de redução da oferta de empregos e conseqüentemente aumento do desemprego em escala mundial

Conforme destaca Kagerman et al. (2013) em um mundo ‘inteligente e conectado’ a Internet das coisas e serviços será um elemento presente em todas as áreas chave de uma organização. Essa transformação está levando ao surgimento de redes inteligentes no campo do provisionamento de energia sustentável, estratégias de mobilidade (mobilidade

inteligente, logística inteligente) e saúde inteligente no domínio da saúde. O ambiente de manufatura, de rede vertical, engenharia de ponta a ponta e integração horizontal em toda a rede de valores de produtos e sistemas cada vez mais inteligente e pronto para inaugurar a quarta etapa da industrialização.

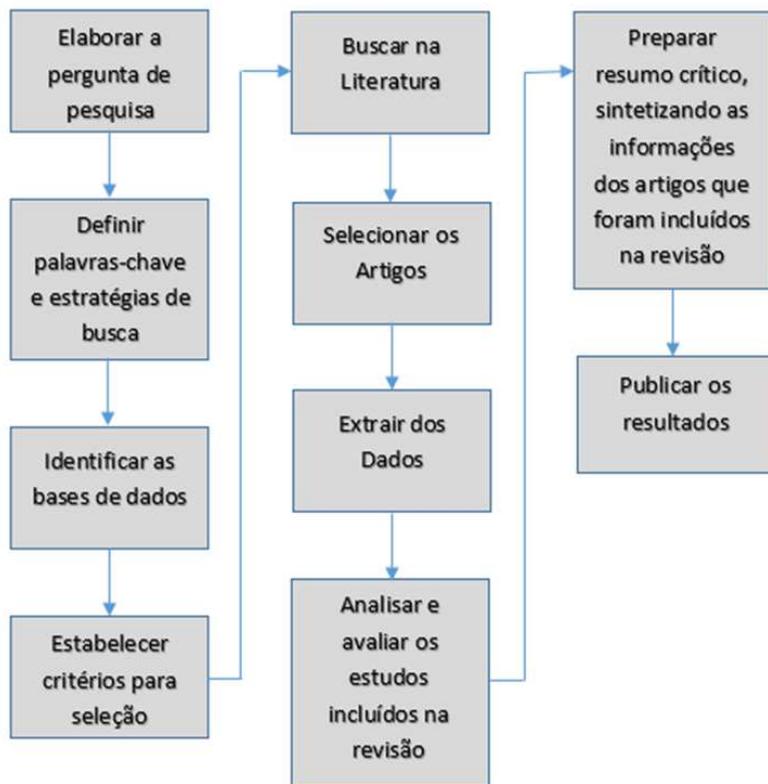
3. Metodologia

O estudo desenvolvido neste artigo é de caráter qualitativo, utilizando dados secundários como fonte de coleta de informações. A fim de atender o objetivo principal do estudo, desenvolveu-se uma Revisão sistemática, ou seja, uma forma de pesquisa que faz uso da literatura sobre um determinado tema como fonte de dados. Esse tipo de pesquisa é importante para a integração de informações de estudos que foram feitos separadamente, e a partir disso, realizar a análise dos resultados obtidos e obter orientações para investigações futuras.

Segundo Galvão e Pereira (2014), revisão sistemática é uma investigação com o foco em uma questão bem definida, que visa identificar, selecionar, avaliar e sintetizar as evidências disponíveis. São adotados critérios para busca e exclusão de publicações e, além disso, quais os fatores serão analisados. A ideia é selecionar os melhores e mais robustos estudos sobre determinado assunto a fim de identificar as contribuições de cada um, de modo que seja analisado o que já se sabe sobre aquela temática.

A elaboração de uma revisão sistemática pode ser compreendida conforme o fluxograma abaixo:

Figura 1 – Desenvolvimento da Revisão Sistemática da Literatura.



Fonte: Adaptado de Sampaio e Mancini (2007).

Inicialmente é estabelecida uma pergunta clara, que serve para nortear a pesquisa. A pergunta estabelecida foi: quais são as contribuições que a mudança tecnológica da indústria 4.0 pode trazer às organizações para o desenvolvimento de uma operação mais sustentável?

Para realizar a busca na literatura, foi consultado o Portal de Periódicos Capes/MEC. Ao entrar no site do Portal de Periódicos Capes, foi selecionado “Buscar assunto”, sendo que a busca foi feita em inglês e as palavras escolhidas como tema foram *sustainability and industry 4.0*. Em uma primeira rodada foram encontrados 10.784 artigos publicados, utilizando-se apenas os últimos cinco anos (2014 a 2019), pois em uma busca rápida percebeu-se que a maioria das publicações que envolve os dois temas é recente. Em uma segunda rodada os resultados foram refinados da seguinte forma:

- ✓ Data de Publicação: 2014 a Agosto 2019.
- ✓ Tipo de Recurso: Artigos;
- ✓ Fonte: Periódicos revisados por pares;
- ✓ Língua: Inglesa.

Os critérios de exclusão de artigos definiram quais elementos fazem parte da pesquisa e quais não entraram na revisão. Após aplicar esses critérios de seleção, foram identificados artigos publicados nas principais bases de dados e publicações de áreas distintas. Esta segunda rodada de análise apresentou um total de 6.479 artigos. A partir do uso de novos recursos de filtragem, e como o foco da pesquisa é na área de administração e negócios, optou-se pela pesquisa pelas palavras-chave *sustainability and industry 4.0* (sem aspas) e por publicações cujo tópico fosse em “*Business*” e “*Economics*”. Com a nova rodada, foram encontrados 1.139 artigos.

De modo a estabelecer maior refinamento e em conformidade com o objetivo da pesquisa, foi determinante que o artigo apresentasse as duas palavras-chave concomitantemente e o estudo deveria prioritariamente tratar-se de pesquisa na área de operações/manufatura, já que o foco desta pesquisa está nas práticas de operações sustentáveis. Foram realizadas leituras dos abstracts dos artigos que continham além das palavras-chave, as palavras *industry 4.0*, *sustainability* ou *sustainable* nos títulos e cuja pesquisa fosse desenvolvida em ambiente de operações sustentáveis.

Assim, todas as outras publicações que se tratavam do tema sustentabilidade em outro ambiente, como educação, por exemplo, não foram considerados. A revisão sistemática segundo Mariano et al. (2017) indica em de seus passos que é preciso estabelecer critérios de inclusão/exclusão. Observando os primeiros artigos listados, nas primeiras dez páginas de resultados da pesquisa, foi possível identificar que o restante dos artigos apresentados nas demais páginas não possuíam as duas palavras-chave listadas em *abstract* ou no título. Realizada a leitura dos mesmos para verificar a pertinência quanto aos critérios de análise descritos, diversas publicações foram excluídas, totalizando então 22 artigos.

Posteriormente, foram retiradas as seguintes informações de cada uma das publicações: título, autores, ano, jornal, objetivo, metodologia e resultados. Essas informações foram utilizadas para apresentar o quadro da revisão sistemática exposto na subseção de resultados. A partir desses dados, foi analisado qual publicação e qual ano com maior número de publicações, qual o tipo de pesquisa mais utilizado e qual a metodologia mais frequentemente adotada pelos autores das publicações, para o desenvolvimento de seus estudos.

Para a o desenvolvimento das principais análises da revisão sistemática foi adotado o método PRISMA. A metodologia PRISMA (Itens de relatório para Revisão Sistemática e Meta-análises) segundo Liberati et al. (2009) e Mariano et al. (2017) é um protocolo que segue etapas sistemáticas pré-estabelecidas que definem um conjunto de itens para ajudar os autores a melhorar os relatórios das revisões sistemáticas. Esta metodologia estabelece uma série de itens de análise como título do artigo, fonte de publicação, ano de publicação, nomes

dos autores, objetivo da pesquisa, metodologia utilizada no estudo e os principais resultados alcançados. Assim, o método resulta em uma lista dos estudos científicos de melhor qualidade para um tema específico.

4. Apresentação e Análise dos Resultados

4.1. Revisão Sistemática da Literatura

Inicialmente, a quantidade obtida por meio da busca, apenas com as palavras-chaves “*sustainability and industry 4.0*” foi de 11.802 trabalhos, porém não havia sido aplicado nenhum critério de exclusão. Portanto, os resultados iniciais são gerais e englobam qualquer trabalho, como artigos, livros, entre outros.

Em seguida, foram utilizados cinco filtros. O primeiro filtro foi “Business & Economics” em “Personalize your results”. O segundo filtro foi a data de publicação entre o ano de 2014 e o ano de 2019. O terceiro filtro aplicado foi selecionar o tipo de recurso “artigos”. O quarto filtro foi “periódicos revisados por pares”. Por último, o filtro “Inglês”. A filtragem resultou em 7.322 artigos. Posteriormente, a seleção de artigos a serem revisados dependeu de possuir as duas palavras-chaves definidas (*Sustainability and Industry 4.0*) e tratar de operações, o que acabou por reduzir a quantidade de 7.322 para 22 artigos. Os resultados obtidos foram organizados conforme anexo.

Como dito anteriormente, a busca foi feita em inglês, por meio do Portal de Periódico Capes e para que os artigos fossem selecionados, obrigatoriamente deveriam ter “*Sustainability and Industry 4.0*” como palavra-chave. Os artigos encontrados foram considerados na análise (Tabela 1). O periódico com mais publicações conforme a revisão sistemática foi o *Sustainability*.

Tabela 1: Lista de Periódicos Revisão Sistemática (em ordem decrescente)

Journal	Número de Artigos
Sustainability	8
Process Safety and Environmental Protection	4
Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara	1
Benchmarking	1
Computers in Industry	1
IEEE access	1
International Journal of Environmental Research and Public Health	1
Internacional Journal of Innovation Management	1
Journal of Cleaner Production	1
Social sciences	1
Technological Forecasting & Social Change	1
The International Journal Entrepreneurship and Sustainability	1

Fonte: elaboração própria

Observou-se a data de publicação dos artigos (Tabela 2) e 2018 foi o ano com mais publicações. Com isso, é possível perceber que ainda existem poucas publicações que tratam de operações sustentáveis e indústria 4.0 e as pesquisas que existem são recentes. Portanto, no ano de 2018 pode-se dizer que houve um avanço em estudos publicados tratando dos dois assuntos citados.

Tabela 2: Ano de publicação

Ano De Publicação	Número de Artigos
2016	1
2017	3

2018	12
2019 (até agosto)	6

Fonte: elaboração própria

A maioria das pesquisas dos artigos revisados é qualitativa. A revisão aponta que dos 22 artigos levantados, 18 são pesquisas qualitativas e apenas 4 quantitativas. As pesquisas qualitativas são de caráter exploratório, usada para coletar dados e analisá-los, enquanto a pesquisa quantitativa é utilizada por meio de dados numéricos ou estatísticos. Observou-se que, ainda existem poucas publicações sobre indústria 4.0 e operações sustentáveis na área de *Business and Economics*, o que demonstra ser um assunto novo e que possivelmente haverá avanços nessa área de pesquisa.

São variadas as metodologias utilizadas nos 22 artigos, sendo entrevista, estudo de caso e revisão sistemática da literatura as mais frequentes nos estudos revisados, provavelmente devido a maior facilidade de buscar informações sobre como as empresas estão colocando em prática as tecnologias. Algumas publicações possuem mais de uma metodologia, portanto, o número de metodologias foi maior que o número de artigos revisados (Tabela 3).

Tabela 3: Tipos de metodologia

METODOLOGIAS	QUANTIDADE
Questionários	3
Análise de Conteúdo	2
Entrevista	4
Estudo de Caso	4
Revisão Sistemática da Literatura	5
Revisão da Literatura	4
Análise Teórica	1
Aplicação operacional	1

Fonte: elaboração própria

Nota-se que as entrevistas, os estudos de caso, revisão de literatura e a revisão sistemática foram os métodos mais utilizados nas pesquisas desenvolvidas sobre a temática. O desenvolvimento de muitos estudos com base em revisão sistemática e de literatura permite observar o estado da arte dos assuntos tratados, indicando a necessidade de ampliar as pesquisa empíricas e aplicação de outras metodologias com uso de coleta de dados primários.

4.2. Análise dos Resultados

A análise dos artigos na revisão sistemática permitiu perceber que as tecnologias advindas da indústria 4.0 fornecerão vantagens competitivas, a produção será mais ecológica, os produtos poderão ser customizados, haverá melhoria na qualidade do produto, monitoramento contínuo da produção, ambiente de trabalho mais seguro, carga de trabalho menos intensa, entre outros fatores. O quadro 1 a seguir apresenta a síntese da análises a partir dos itens definidos pela metodologia PRISMA:

Quadro 1. Revisão Sistemática.

Título	Autores	Ano	Journal	Objetivo	Metodologia	Resultados
Industry 4.0 and sustainability impacts: critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences	Gabriel, Magdalena; Pessl, Ernst	2016	Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara	Discutir os possíveis impactos sociais e ambientais da indústria 4.0.	Definições, histórico, estudo empírico, questionários.	Vantagem competitiva, resposta ao cliente mais rápida, com qualidade e flexibilidade, gerenciamento contínuo de energia e recursos.
A Cross-Strait Comparison of Innovation Policy under Industry 4.0 and Sustainability Development Transition	Kuan Chung Lin; Joseph Z. Shyu; Kun Ding	2017	Sustainability	Análise descritiva e análise de política comparativa.	Coleta de dados, análise qualitativa de conteúdo e das estatísticas.	As vantagens da concorrência industrial podem ser aprimoradas com a atualização do ambiente industrial.
On sustainable production networks for industry 4.0	Prause, Gunnar; Atari, Sina	2017	The International Journal of Entrepreneurship and Sustainability Issues	Validar empiricamente usando amostras de dados de um projeto.	Abordagem exploratória mista, métodos qualitativos de estudo de caso e entrevistas.	Uma abordagem em rede bem-sucedida exige liberdade intraempreendedora e fornecimento adequado de informações.
Sustainable Industrial Value Creation: benefits and challenges of industry 4.0	Kiel, Daniel; Müller, Julian M; Arnold, Christian; Voigt, Kai-Ingo	2017	International Journal of Innovation Management	Apresentar os benefícios e desafios relacionados à Internet Industrial das Coisas (IIoT).	Estudo de caso múltiplo com base em entrevistas semiestruturadas.	A IIoT exige uma extensão do TBL estabelecido por três dimensões adicionais, ou seja, integração técnica, dados e informações e contexto público.
What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability	Julian Marius Müller; Daniel Kiel; Kai-Ingo Voigt	2018	Sustainability	Citar quais as diferentes características da empresa a implementação do setor 4.0 depende.	Coleta e amostra de dados; Projeto de pesquisa quantitativa.	As oportunidades estratégicas, operacionais, ambientais e sociais são fatores positivos, enquanto a viabilidade futura, bem como ao ajuste organizacional e de produção, impedem seu progresso.
Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies	Luthra, Sunil; Mangla, Sachin Kumar	2018	Process Safety and Environmental Protection	Reconhecer os principais desafios para a indústria 4.0	Revisão sistemática da literatura, questionários, método de Processo de Hierarquia Analítica.	Os desafios organizacionais têm a maior importância, seguidos pelos tecnológicos, estratégicos e questões jurídicas e étnicas.
When titans meet -- Can	de Sousa Jabbour,	2018	Technological	Determinar se a Indústria	Propõe uma estrutura	Permite o desenvolvimento de

industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. (Report)	Ana Beatriz Lopes; Jabbour, Charbel Jose Chiappetta; Foropon, Cyril; Godinho Filho, Moacir		Forecasting & Social Change	4.0 pode ou não impulsionar sinergicamente a fabricação ambientalmente sustentável.	com doze proposições de pesquisa. É feita análise de conteúdo.	produtos ecológicos, processos de fabricação ecológicos e gerenciamento da cadeia de suprimentos.
Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives	Kamble, S. S.; Gunasekaran, A.; Gawankar, S. A	2018	Process Safety and Environmental Protection	Classificar 85 artigos selecionados em cinco categorias de pesquisa.	Revisão sistemática.	O uso de abordagens empíricas de pesquisa para demonstrar e validar os sistemas, processos e tecnologias foram frequentemente observados.
An Empirical Investigation of the Relationship between Overall Equipment Efficiency (OEE) and Sustainability in Industry 4.0 with Time Study Approach	Poorya Ghafoorpoor Yazdi; Aydin Azizi; Majid Hashemipour	2018	Sustainability	O principal objetivo deste artigo é projetar e estudar a implementação de um sistema sustentável e inteligente de manuseio e distribuição de materiais com a utilização de um algoritmo baseado em agente como arquitetura de controle.	Uma metodologia baseada no estudo do tempo foi utilizada para avaliar a eficácia geral do equipamento e sua otimização para aumentar a porcentagem de eficiência levando em consideração a sustentabilidade do sistema.	A redução nos gastos de tempo excedente, adiamento de investimentos de capital maior, redução no tempo de inatividade / tempo ocioso e melhoria no desempenho do operador são os benefícios da eficiência geral do equipamento para as PME.
Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential	Stock, Tim; Obenaus, Michael; Kunz, Sascha; Kohl, Holger	2018	Process Safety and Environmental Protection	Avaliar o potencial de criação de valor industrial na Indústria 4.0 em sua contribuição para um desenvolvimento sustentável.	Revisão de literatura e entrevistas com especialistas.	Contribuirá positivamente para a dimensão ecológica da sustentabilidade e na dimensão social como o enriquecimento do trabalho, entre outros. Impactos negativos: a simplificação de empregos por tecnologia.
Industry 4.0 and Sustainability Implications: A Scenario-Based Analysis of the Impacts and Challenges	Silvia H. Bonilla; Helton R. O. Silva; Marcia Terra Da Silva; Rodrigo Franco Gonçalves; José B. Sacomano	2018	Sustainability	É realizada uma análise baseada na literatura para discutir o impacto e os desafios de sustentabilidade da indústria 4.0.	Análise teórica.	O grau de sinergia alcançado entre os ODS sociais e ambientais e a distribuição geográfica homogênea da tecnologia serão decisivos na interação proativa com a sustentabilidade.

Pharma Industry 4.0: Literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical supply chains	Ding, Baoyang	2018	Process Safety and Environmental Protection	Identificar as possíveis barreiras à sustentabilidade da cadeia de suprimentos farmacêuticos (PSC) e investigar como a Indústria 4.0 pode ser aplicada.	Revisão sistemática de 33 artigos.	Principais desafios: altos custos, escassez de incentivos comerciais, entre outros. Tecnologias e inovações podem resolver barreiras ao melhorar a eficácia da coordenação; mitigação de resíduos; tomada de decisão mais autônoma.
Exploring Organizational Sustainability of Industry 4.0 under the Triple Bottom Line: The Case of a Manufacturing Company	Alessio Maria Braccini; Emanuele Gabriel Margherita	2018	Sustainability	A investigação considerou a adoção do I40 em uma empresa de manufatura em que foi analisado como um único estudo de caso.	Estudo de caso com entrevistas semiestruturadas, observações na linha de produção e utilização de dados secundários.	Melhoria da produtividade e da qualidade do produto, monitoramento contínuo do consumo de energia, ambiente de trabalho mais seguro e carga de trabalho menos intensa.
Sustainable robust layout using Big Data approach: A key towards industry 4.0	Kumar, Ravi; Singh, Surya Prakash; Lamba, Kuldeep	2018	Journal of Cleaner Production	Propor uma metodologia para resolver um problema robusto e sustentável de layout de instalações celulares estocásticas	Abordagem meta-heurística incorporada baseada em SA.	Um design de layout robusto e sustentável é capaz de lidar com as variações. O design inadequado diminui a precisão na fabricação de produtos e aumenta o tempo de produção.
Industry 4.0 and supply chain sustainability: framework and future research directions	Bag, S.; Telukdarie, A.; Pretorius, J.H.C.; Gupta, S.	2018	Benchmarking	Identificar os facilitadores da Indústria 4.0 de sustentabilidade da cadeia de suprimentos.	Revisão sistemática de literatura. A lista de artigos foi baixada do banco de dados Scopus.	Facilitadores: apoio do governo e de institutos de pesquisa; padrões e segurança de TI aprimorados; compromisso de gestão; foco no capital humano; padronização.
IoT Heterogeneous Mesh Network Deployment for Human-in-the-Loop Challenges Towards a Social and Sustainable Industry 4.0	Garrido-Hidalgo, Celia; Hortelano, Diego; Roda-Sanchez, Luis; Olivares, Teresa; Ruiz, M. Carmen; Lopez, Vicente	2018	IEEE Access	Investiga as principais tecnologias de IoT que permitem redes colaborativas em ambientes da Indústria 4.0.	Experimentos e testes.	Atingiu-se um grande desafio para a Indústria 4.0: fusão de máquinas humanas com fábricas sociais e sustentáveis.
Development of a Risk Framework for Industry	Hendrik S. Birkel; Johannes W. Veile;	2019	Sustainability	Propõe uma estrutura de riscos no contexto da	Revisão de literatura, bem como de 14	Os resultados revelam seis dimensões de risco com 27

4.0 in the Context of Sustainability for Established Manufacturers	Julian M. Müller; Evi Hartmann; Kai-Ingo Voigt			Indústria 4.0, relacionada à linha de fundo triplo da sustentabilidade.	entrevistas aprofundadas com especialistas.	subdimensões que ocorrem durante a implementação da Indústria 4.0
Optimization of Municipal Waste Collection Routing: Impact of Industry 4.0 Technologies on Environmental Awareness and Sustainability	Tamás Bányai; Péter Tamás; Béla Illés; Živilė Stankevičiūtė; Ágota Bányai	2019	International Journal of Environmental Research and Public Health	Descrever as possibilidades de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 em coleta de lixo.	Revisão sistemática da literatura.	Modelagem matemática e otimização de processos de coleta de lixo com base em algoritmo binário baseado em algoritmo de otimização.
Evaluation of the relation between lean manufacturing, industry 4.0, and sustainability	Leonilde Varela; Adriana Araújo; Paulo Ávila; Hélio Castro; Goran Putnik	2019	Sustainability	Medir quantitativamente os efeitos do Lean Manufacturing and Industry 4.0, em Sustentabilidade.	Foi realizada uma revisão de literatura e foram coletados 252 questionários.	Não é conclusivo que o LM esteja correlacionado com os pilares da sustentabilidade e a I4.0 mostra uma forte correlação com os três pilares.
A comprehensive framework for the analysis of Industry 4.0 value domain	César Martínez-Olvera; Jaime Mora-Vargas	2019	Sustainability	Explorar o processo de criação de valor na Indústria 4.0, com ênfase especial em sua relação com a personalização em massa e a questão da sustentabilidade.	Revisão de literatura e o desenvolvimento do Cliente-Produto-Processo-Recurso (CPPR) 4.0.	É possível criar um modelo de negócios com uma proposta de valor sustentável ao abordar adequadamente o uso de altos níveis de tecnologia.
Identifying the Equilibrium Point between Sustainability Goals and Circular Economy Practices in an Industry 4.0 Manufacturing Context Using Eco-Design	Fernando E. García-Muiña; Rocío González-Sánchez; Anna Maria Ferrari; Lucrezia Volpi; Martina Pini; Cristina Siligardi; Davide Settembre-Blundo	2019	Social Sciences	Testar o eco-design e demonstrar como novas oportunidades de negócios podem ser criadas através da evolução de um modelo de negócios linear para um circular.	Aplicar operacionalmente um procedimento para implementar os princípios de sustentabilidade ambiental, social e econômica em um ambiente de manufatura.	Validação empírica em um ambiente de fabricação de paradigmas de sustentabilidade por meio de ferramentas de design ecológico e tecnologias digitais, propondo o modelo circular de negócios.
Big data for agri-food 4.0: Application to sustainability management for by-products supply chain	Belaud, Jean-Pierre; Prioux, Nancy; Vialle, Claire; Sablayrolles, Caroline	2019	Computers in Industry	Avaliar os vários processos e seus painéis de tecnologias.	Coleta de dados.	Projetou-se uma abordagem que integra a I4.0 ao design da cadeia de suprimentos para melhorar o gerenciamento da sustentabilidade e valorização de resíduos agrícolas.

Fonte: elaboração própria

A partir das informações levantadas pela revisão sistemática realizada e apresentados no Quadro 1, é possível sintetizar os principais elementos resultantes das publicações analisadas e citadas em termos de quantidade no Quadro 2, a seguir:

Quadro 2: Síntese dos Resultados- ocorrências

RESULTADOS	Ocorrências
Melhora no gerenciamento da cadeia de suprimentos	3
Vantagem competitiva	3
Customização	2
Enriquecimento profissional	2
Fornecimento de informações detalhadas sobre cada ponto do processo	2
Otimização do uso de recursos e energia	2
Otimização do tempo	2
Melhora na produtividade	2
Monitoramento contínuo do consumo de energia	2
Precisão e exatidão na fabricação de produtos	2
Redução de custos	2
Redução de resíduos	2
Ambiente de trabalho mais seguro	1
Aumenta a flexibilidade	1
Carga de trabalho menos intensa	1
Desenvolvimento de produtos ecológicos	1
Maior eficácia	1
Melhor equilíbrio entre vida profissional e pessoal	1
Melhora na qualidade do produto	1
Processos de fabricação ecológicos	1
Redução nas emissões de poluentes	1
Redução de estoques	1
Resposta ao cliente mais rápida, com qualidade e flexibilidade	1
Simplificação de empregos por sistemas tecnológicos	1
Tomada de decisão mais autônoma	1

Fonte: Elaboração Própria

Com o advento da indústria 4.0 a atividade industrial será mais eficiente, com menos falhas durante o processo e menor quantidade de resíduos gerados. O maquinário que é responsável por toda essas vantagens ainda terá como fonte matérias-primas e, conforme a Indústria 4.0 vai se desenvolvendo, haverá a produção dessas tecnologias e os gastos com recursos naturais. Para compensar toda essa tecnologia, as empresas provavelmente focarão seus esforços ainda mais na questão ambiental, com o uso de recursos naturais, tornando-se mais sustentáveis.

A capacidade da indústria 4.0 de realmente concretizar as técnicas produtivas já utilizadas pela indústria e torná-las práticas cotidianas se deve em grande parte ao alto nível de virtualização, digitalização e integração expresso pelas tecnologias existentes e potencializam não apenas a produção, mas também a conscientização ambiental (CARVALHO et al. 2018). É, portanto, perceptível que a simplificação de processos e uma melhor gestão ambiental propiciam resultados positivos para as dimensões econômica e ambiental.

O conceito de indústria 4.0 permite que haja vantagens como menos desperdícios de materiais, menos resíduos, redução de emissão de poluentes, menos estoque, uso de fontes alternativas de energia com redução de consumo, entre outros. Entretanto, apesar de alguns dos artigos apontarem para uma carga de trabalho menos intensa, podem existir alguns pontos

contraditórios em termos da empregabilidade e do uso excessivo de tecnologias na vida cotidiana, que inevitavelmente causam impacto social.

Podem ser esperados benefícios na dimensão social como o enriquecimento do trabalho, uma educação mais eficaz dos trabalhadores e um melhor equilíbrio entre vida profissional e pessoal. Impactos negativos podem ocorrer como a simplificação de empregos por sistemas tecnológicos (STOCK et al., 2018). As tecnologias associadas a indústria 4.0 promovem melhoria no desempenho, elemento essencial para aumento da produtividade, e objetivo primordial das organizações. No entanto, provocam também uma necessidade de reorganização do trabalho, de formas inovadoras de lidar com as questões relacionadas a ele, e também uma revisão por parte não somente de empresas, mas de governos quanto às demandas provenientes dessas modificações globais.

Nota-se pelo Quadro 2 que em 3 artigos das 22 publicações analisadas na Revisão Sistemática, o termo vantagem competitiva aparece em destaque. Compreende-se assim que a sustentabilidade aliada às técnicas da indústria 4.0, e sua abordagem como mecanismo de gestão organizacional é considerada como vantagem competitiva pelas empresas, o que pode tornar a temática um elemento estratégico.

5. Considerações Finais

A Indústria 4.0 será muito importante para as organizações de modo geral. Após a leitura de artigos e reportagens, foi possível perceber que esta revolução industrial mostrará que a produção associada com a sustentabilidade poderá trazer benefícios não somente para as empresas, como também para o meio ambiente. Os recursos naturais podem ser utilizados de forma inteligente, diminuindo o desperdício e reaproveitando materiais se as empresas investirem nisso e reconhecerem que também haverá vantagens econômicas.

Com relação à sustentabilidade, a Quarta Revolução Industrial contribuirá de forma positiva em diversos aspectos, enquanto outros ainda são difíceis de mensurar, como no pilar social, em que algumas funções não existirão mais e outras poderão vir a existir. Portanto, é necessário a qualificação da mão-de-obra para que as pessoas consigam trabalhar em meio a tecnologia. No pilar ambiental, as tecnologias inteligentes facilitarão com que as empresas tornem as operações mais sustentáveis, pois ocorrerá a otimização do processo produtivo, haverá monitoramento constante e menos resíduos serão gerados na produção, por meio da Impressão 3D, por exemplo. E por último, o pilar econômico, no qual as tecnologias permitirão maior eficiência e otimização do tempo, reduzindo perdas dentro das empresas.

O objetivo principal do artigo foi alcançado, porém com algumas limitações, dentre elas a quantidade de artigos e publicações que correlacionavam “Indústria 4.0” e “Sustentabilidade” ser bem restrito, em especial os que se relacionam diretamente com Operações Sustentáveis. A maioria das publicações trata das ferramentas advindas da revolução e quais as mudanças na economia das empresas e no mercado. Além disso, como a Quarta Revolução Industrial ainda está sendo implementada, não é possível prever todos os impactos que serão causados.

Em especial, não é possível ainda concluir como será o impacto social caso haja significativa substituição de funções por tecnologias. Isso provavelmente estimulará uma busca dos indivíduos por maior qualificação, mas por outro lado, poderá causar dificuldades para os países em desenvolvimento, onde o acesso a educação superior e melhor qualificação profissional é comprometida.

Referências

ANDERL, R. *Industrie 4.0: Advanced engineering of smart products and smart production*. International Seminar on High Technology. **Anais**. Piracicaba. 2014.

BAG, S.; TELUKDARIE, A.; PRETORIUS, J.H.C.; GUPTA, S. Industry 4.0 and supply chain sustainability: framework and future research directions. **Benchmarking**, 2018. Disponível em: <<https://scinapse.io/papers/2905864531>>. Acesso em: 12 de jun. 2019.

BAHRIN, M.; OTHMAN, F.; AZLI, N.; TALIB, M. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Journal Teknologi*, [s.l.], v. 78, n.6-13, p.137–143, 2016.

BÁNYAI, T.; TAMÁS, P.; ILLÉS, B.; STANKEVIČIŪTĒ, Z.; BÁNYAI, A. Optimization of Municipal Waste Collection Routing: Impact of Industry 4.0 Technologies on Environmental Awareness and Sustainability. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. Vol.16(4). 2019.

BEIER, G., NIEHOFF, S., ZIEMS, T., XUE, B. Sustainability aspects of a digitalized industry—A comparative study from China and Germany. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology**. v. 4, n. 2, p. 227-234, 2017.

BELAUD, J. P.; PRIOUX, N.; VIALLE, C.; SABLAYROLLES, C. Big data for agri-food 4.0: Application to sustainability management for by-products supply chain. **Computers in Industry**. V. 118. 2019.

BIRKEL, H. S.; VEILE, J. W.; MÜLLER, J. M.; HARTMANN, E.; VOIGT, K. Development of a Risk Framework for Industry 4.0 in the Context of Sustainability for Established Manufacturers. **Sustainability**. v. 11, n.2. 2019.

BLUNK, E. WERTHMANN, H. Industry 4.0 – an opportunity to realize sustainable manufacturing and its potential for a circular economy. **DIEM : Dubrovnik International Economic Meeng**. Vtiol.3 No.1 , p. 644-666. Listopad 2017.

BONILLA, S. H.; SILVA, H. R. O.; DA SILVA, M. T.; GONÇALVES, R. F.; SACOMANO, J. B. Industry 4.0 and Sustainability Implications: A Scenario-Based Analysis of the Impacts and Challenges. **Sustainability**. v. 10. n.10. 2018.

BRACCINI, A. M.; MARGHERITA, E. G. Exploring Organizational Sustainability of Industry 4.0 under the Triple Bottom Line: The Case of a Manufacturing Company. **Sustainability**. Vol.11(1). 2018.

CARVALHO, N. et al. Manufacturing in the fourth industrial revolution: a positive prospect in sustainable manufacturing. **Procedia Manufacturing**. v. 21, p. 671–678. 2018.

CAVALCANTI, V. Y. S. de L.; SOUZA, G. H. de; SÓDRE, M. A. C.; ABREU, M. S. D. de; MACIEL, T. da S.; SILVA, J. M. de A. Indústria 4.0: Desafios e Perspectivas na Construção Civil. **Revista Campo do Saber**, v. 4, n. 4, p. 146-158

DING, B. Pharma Industry 4.0: Literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical supply chains. **Process Safety and Environmental Protection**. v. 119. p.115-130 2018.

ESMAEILIAN, B.; BEHDAD, S.; WANG, B. The evolution and future of manufacturing: A review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 39, p. 79-100, 2016.

GABRIEL, M.; PESSL, E. Industry 4.0 and sustainability impacts: critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological. **Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara**, v.14(2), pp.131-136. 2016.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. *Epidemiol. Serv. Saúde*, Brasília, 23(1):183-184, jan-mar 2014.

GARCIA-MUIÑA, F. E.; GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, R.; FERRARI, A. M.; VOLPI, L.; PINI, M.; SILIGARDI, C.; SETTEMBRE-BLUNDO, D. Identifying the Equilibrium Point between Sustainability Goals and Circular Economy Practices in an Industry 4.0 Manufacturing Context Using Eco-Design. **Social Sciences** v.8, n.8. 2019.

GARRIDO-HIDALGO, C.; HORTELANO, D.; RODA-SANCHEZ, L.; OLIVARES, T.; RUIZ, M. C.; LOPEZ, V. IoT Heterogeneous Mesh Network Deployment for Human-in-the-

Loop Challenges Towards a Social and Sustainable Industry 4.0. **IEEE Access**. Vol.6, p.28417-28437. 2018.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review, **Working Paper** N°. 01, 2015.

HOFMANN, Erik; RÜSCH, Marco. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, v. 89, p. 23-34, 2017.

LOZANO, Rodrigo. Towards better embedding sustainability into companies' systems: an analysis of voluntary corporate initiatives. **Journal of Cleaner Production**, v. 25, p. 14-26, 2012.

JABBOUR, A. B. L. de S.; 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 & Social Change**, v. 132, p. 18-25. 2018.

JAYAL, A. D.; BADURDEEN, F.; DILLON, O. W.; JAWAHIR, I. S. Sustainable manufacturing: Modeling and optimization challenges at the product, process and system levels. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 2, n. 3, p. 144-152, 2010.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. **Acatech**, p.13–78. 2013

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**. v. 117, p.408-425 2018.

KIEL, D.; MULLER, J. M.; ARNOLD, C.; VOIGT, K. Sustainable Industrial Value Creation: benefits and challenges of industry 4.0. **International Journal of Innovation Management**. v.28, n.8. 2017.

KUMAR, R.; SINGH, S. P.; LAMBA, K. Sustainable robust layout using Big Data approach: A key towards industry 4.0. **Journal of Cleaner Production**. Vol.204, p.643-659. 2018.

LIBERATI, A. et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. **BMJ**. Research Methods and Reporting. 2009.

LIN, K. C.; SHYU, J. Z.; DING, K. A Cross-Strait Comparison of Innovation Policy under Industry 4.0 and Sustainability Development Transition. **Sustainability**, v. 9, n.5. 2017.

LOZANO, R. Towards better embedding sustainability into companies' systems: An analysis of voluntary corporate initiatives. *Journal of Cleaner Production*. v. 25, p. 14-26. 2012.

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

MARIANO, D. C. B. et al. **A guide to performing systematic literature reviews in bioinformatics**. 2017. Disponível em <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1707/1707.05813.pdf>. Acesso em março 2020.

MARTÍNEZ-OLVERA, C.; MORA-VARGAS, J. A comprehensive framework for the analysis of Industry 4.0 value domain. **Sustainability**. Vol.11(10). 2019.

MULLER, J. M.; KIEL, D.; VOIGT, K. What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability. **Sustainability**, Vol.10(1)..2018.

PEREIRA, A.; SIMONETTO, E. de O.; Indústria 4.0: Conceitos e Perspectivas para o Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 1, 2018.

PEREZ, C. Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, [s.l.],v. 34, n.1, p.185-202, 2010.

PRAUSE, G.; ATARI, S. On sustainable production networks for industry 4.0. **Entrepreneurship and Sustainability Issues**, v.4. 2017.

RIBEIRO, J. M. O Conceito da Indústria 4.0 na Confeção: Análise e Implementação. **Escola de Engenharia. Universidade do Minho**. 2017.

ROJKO, Andreja. Industry 4.0 Concept: Background and Overview. **International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)**, v. 11, n. 5, p. 77-90, 2017.

ROSEN, M. A.; KISHAWY, H. A. Sustainable manufacturing and design: Concepts, practices and needs. **Sustainability**, v. 4, n. 2, p. 154-174, 2012.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: Um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Revista Brasileira de Fisioterapia, São Carlos*, v. 11, n. 1, p. 83-89, jan/fev. 2007.

SCHWAG, K. A Quarta Revolução Industrial. 1ª edição. Editora: Edipro, 2016.

SHAFIQ, S. I.; SANIN, C.; SZCZEBICKI, E.; TORO, C. Virtual engineering object/virtual engineering process: a specialized form of cyber physical system for Industrie 4.0. **Procedia Computer Science**, v. 60, p. 1146-1155, 2015.

SHULES, M. V. Proposta de Diagnóstico para Adoção das Tecnologias da Indústria 4.0 em um Processo Produtivo com Base em Indicadores de Sustentabilidade: Um Estudo de Caso. **Universidade Federal do Paraná**. Curitiba. 2018.

STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. **ScienceDirect**, v. 40, p. 536-541. 2016

STOCK, T.; et al. Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. **Process Safety and Environmental Protection**. v. 118, p.254-267. 2018.

VARELA, L.; ARAÚJO, A.; ÁVILA, P.; CASTRO, H.; PUTNIK, G. Evaluation of the relation between lean manufacturing, industry 4.0, and sustainability. **Sustainability**. Vol.11(5). 2019.

WITKOWSKI, Krzysztof. Internet of Things, Big Data, Industry 4.0–Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management. **Procedia Engineering**, v. 182, p. 763-769, 2017.

YAZDI, P. G.; AZIZI, A.; HASHEMIPOUR, M. An Empirical Investigation of the Relationship between Overall Equipment Efficiency (OEE) and Manufacturing Sustainability in Industry 4.0 with Time Study Approach. **Sustainability**, 2018.

ZHOU, K.; LIU, T.; ZHOU, L. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In: **Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2015 12th International Conference on**. IEEE, 2015. p. 2147-2152.