

ECONOMIA CIRCULAR E INDÚSTRIA 4.0: SINERGIAS E DESAFIOS

TIAGO HENNEMANN HILARIO DA SILVA
UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA (UNISUL)

SIMONE SEHNEM
UNIVERSIDADE DO OESTE DE SANTA CATARINA (UNOESC)

ECONOMIA CIRCULAR E INDÚSTRIA 4.0: SINERGIAS E DESAFIOS

1 Introdução

A Economia Circular é um sistema econômico que visa reduzir o consumo de recursos e eliminação de desperdício com uma promessa de continuidade do desenvolvimento econômico (Kouhizadeh, Zhu & Sarkis, 2019). A transição para uma EC é um dos principais objetivos das instituições governamentais em todo o planeta, necessários para o atingimento do desenvolvimento sustentável. Este campo teórico ganhou impulso entre organizações, legisladores e pesquisadores em virtude de seu potencial para contribuir com alguns dos ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável), tais quais: o objetivo 6 - Água limpa e saneamento, o 7 - Energia limpa e acessível e o ODS 12 - Consumo e produção responsáveis e por fim, o objetivo 15 - Vida na terra (Lechner & Marc, 2019).

Estas possíveis contribuições tomam como base a importância de empresas de manufatura na gestão de seus recursos. Contudo, a adoção de estratégias circulares nestas organizações é um tanto modesta, embora desempenhem um papel vital na criação de valor, existem poucas melhorias para desatrelar o consumo linear de recursos finitos. A EC ainda é um conceito emergente, o que implica falta de ferramentas para sua implementação e também a sua ligação com as possíveis tecnologias digitais ainda não é bem difundida. Na maioria dos casos, a transição para uma EC requer repensar e redesenhar os modelos de negócios e rotinas atuais (Kristoffersen et al., 2020).

Nestes novos modelos de negócio, as novas tecnologias digitais, os quais, em seu conjunto, são chamadas de I4.0 podem alavancar essa transição por meio da coleta, análise e integração de dados. Estudos progressos demonstram que avanços da EC e I4.0 como futuro das organizações, sendo que estes conceitos são rapidamente adotados por várias organizações para alcançar a sustentabilidade global. Os fatores facilitadores da I4.0 e EC possuem abrangente influência nas atividades relacionadas à cadeia de suprimentos, sendo que os fornecedores são considerados um componente essencial neste processo e, portanto, a atividade relacionada com eles tem efeito direto sobre o desempenho sustentável da cadeia de suprimentos (Yadav et al., 2020). Mas não podemos deixar de lado a influência da pandemia de COVID-19, a qual afetou os processos de praticamente todas estas cadeias produtivas, ocorrendo bloqueios de organizações, isolamento social, distanciamento entre as pessoas e migração de mão de obra. Este cenário levou as empresas a repensar sobre sua localização e estratégias de investimento (Kumar, Singh & Dwivedi, 2020).

Sendo assim, este estudo apresenta novos caminhos e desafios entre as tecnologias relacionadas a I4.0 e suas interfaces com EC. Com isto, este tem como proposta de pesquisa de responder a seguinte pergunta: Com base em estudos progressos, quais são os novos caminhos e desafios entre a relação da EC e I4.0? Para responder este questionamento, o objetivo de pesquisa é analisar os estudos que abordam a interface existente entre EC e I4.0. Para tal, foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura em 63 artigos. Para dar conta do proposto, este paper está estruturado além desta seção, no referencial teórico, o qual versa sobre a EC e a I4.0, na seção de procedimentos metodológicos, o qual trata do protocolo da RSL, a seção de apresentação e análise dos resultados e por fim, as conclusões.

2 A Economia Circular e a Indústria 4.0

Nesta seção são apresentados os conceitos basilares para este estudo. Inicialmente apresentaremos as principais definições sobre EC, para logo após versarmos sobre a I4.0. Em ambas as subseções priorizamos os conceitos levantados nos autores da Revisão Sistemática de Literatura.

2.1 Economia Circular

A EC propõe mitigar ou reduzir estruturas, o desperdício e a demanda por material virgem finito, como também promove o afastamento do meio ambiente como um “sumidouro” para despejar os materiais utilizados, sendo que se deve reduzir e acabar com a perda ou destruição por meio de emissões menores, redução de níveis de poluição e perda de biodiversidade nos habitats associados com extração de recursos (Kristoffersen et al., 2020). A EC é um sistema econômico que visa o equilíbrio entre a proteção ambiental e crescimento econômico. Este tema ganhou popularidade como uma ferramenta para apoiar o desenvolvimento sustentável, especialmente no apoio para a adoção de novas abordagens tecnológicas, sendo que este facilita uma produção mais limpa, aumenta a eficiência dos recursos e permite uma estrutura econômica mais sustentável, como também objetiva a perspectiva do ciclo de vida completo do produto, desde a produção até o consumo, efetuando a conexão aprimorada entre as indústrias, objetivando a melhoria na realocação de recursos (Zhou, Song & Cui, 2020).

Neste contexto, a EC desempenha um papel importante na produção industrial, o que aumenta aspectos como a reciclagem de recursos, minimização da utilização de materiais e também de energia. Ela visa beneficiar a economia, o meio ambiente e sociedade e alcançar um grande equilíbrio e harmonia entre eles. A EC é percebida como um novo modelo de negócio que se espera alcançar um equilíbrio e harmonia entre economia e sociedade (Ma et al., 2020). A EC baseia-se na extensão da responsabilidade do produtor e da responsabilidade dos usuários finais. Em uma EC, os recursos permanecem no sistema por um longo tempo e fornecem o valor máximo, e então, no final do seu ciclo de vida, os componentes são recuperados (Bag, Gupta & Kumar, 2021).

No ambiente organizacional atual moderno da EC, as organizações necessitam utilizar a tecnologia para fins éticos e sustentáveis. As organizações não devem se concentrar apenas no lucro, necessitando assim fazer um equilíbrio adequado entre as diferentes perspectivas de desempenho. Para garantir o crescimento de longo prazo, as organizações necessitam efetuar negócios com modelos éticos, sustentáveis e transparentes, sem exploração dos valores humanos (Kumar et al., 2020). Em suma, é o sistema que propõe substituir o desperdício de ineficientes ciclos lineares e abertos de produção para um circuito fechado, onde o desperdício é minimizado ou transformado em entradas de valor, onde estes aspectos contribuem para o aumento da produtividade, otimizando o uso de recursos naturais e humanos. É restaurativa e regenerativa em sua concepção e tem como objetivo manter produtos, componentes e materiais em altos níveis de utilidade e valor, sendo estes produtos distinguidos entre ciclos técnicos e biológicos (Sehnm et al., 2019).

Muitas são as ênfases da EC, a se destacar algumas destas, para fins deste estudo: (i) os 10 R's (recusar, repensar, reduzir, reutilizar, reparar, recondicionar, remanufaturar, reaproveitar, reciclar e recuperar) podem ajudar as empresas a alcançar uma vantagem sobre seus concorrentes (Bag, Gupta & Kumar, 2021) (ii) A Produção Mais Limpa, a qual visa ser sustentável por meio da conservação de energia, redução de emissões e maior eficiência de produção, ela é uma abordagem básica que busca otimizar a gestão ambiental dos processos. (Ma et al., 2020; Lu et al., 2020); (iii) o Sistema Produto Serviço, o qual é um sistema de produtos, serviços, redes de agentes e infraestruturas de apoio que se trabalham com um fluxo contínuo com o objetivo de se tornarem competitivos, satisfazendo as necessidades dos clientes e minimizando os impactos ambientais em comparação aos modelos de negócios tradicionais (Wang et al., 2020); (iv) o modelo Resolve, o qual é um sistema de EC que utiliza processos que aplicam reciclagem, reutilização, remanufatura dentro de um sistema fechado, sendo que ele incorpora seis princípios que orientam esta transição: regenerar, compartilhar, otimizar, loop, virtualizar e trocar (Kouhizadeh, Zhu & Sarkis, 2019); (v) a Economia do Compartilhamento, que busca atingir efetivamente a sustentabilidade econômica e colaborativa

dos sistemas de produção por meio de várias formas de troca de produto ponto a ponto, sendo que esta abordagem se concentra em aumentar o uso eficaz de recursos subutilizados por meio de atividades de compartilhamento. Nesse sentido, os fabricantes podem cobrar prêmios mais elevados para empresas e/ou usuários de com mais frequência de trocas por produtos de alta durabilidade (Jayakumar & Hasibuan, 2020) e (vi) a Simbiose Industrial, que é estrutura que tem como base a ecologia industrial para a cooperação mútua benéfica entre organizações, compartilhando água, recursos, energia, subprodutos e materiais residuais, para que todos os agentes se beneficiem. Ela projeta fluxos de materiais em que o consumo de energia e material é otimizado, a geração de resíduos é minimizado e os efluentes de um processo servem como material para outros processos (Sehnm et al., 2019).

2.2 - A Indústria 4.0

O conceito da I4.0 foi anunciado pela primeira vez na Feira de Hannover, na Alemanha, em 2011. O relatório desta feira descreveu que a I4.0 criaria novos valores, construiria novos modelos de negócios e representaria solução para diversos problemas sociais por meio de redes de comunicação baseadas em tecnologias emergentes (Chauhan & Singh, 2019). Nos últimos anos, esta transformação chamou muita atenção em todo o mundo (Rejikummar et al., 2019). A I4.0 é orientada por dados em tempo real, que fornece abordagens alternativas para alcançar a produção e consumo sustentáveis que minimizam os desperdícios, consumo de energia e deterioração ambiental (Yadav et al., 2020).

A I4.0 compreende diferentes tecnologias, a citar, a internet de coisas (IoT), computação em nuvem, manufatura aditiva, Cyber Security, Sistemas Cyber-físicos (CPS), Blockchain, realidade aumentada, inteligência artificial (AI), Big Data, integração de sistemas simulação e robô autônomo. As técnicas da I4.0 possuem capacidades para redução de energia, de equipamento e também a utilização de recursos humanos, sendo que ela é uma construção futurística que nutre a evolução e solução de sistemas autônomos de produção (Kumar et al., 2020). Atualmente, os estudos da I4.0 se tornaram mais populares devido aos avanços recentes destas tecnologias (Wang et al., 2020).

As ferramentas da I4.0 podem ser usadas para integrar todas as funções-chave dos processos produtivos, a fim de compartilhar dados, informações e conhecimento comuns em toda a cadeia de suprimento. Estas ferramentas também podem ser aplicadas para automatizar atividades operacionais críticas. No entanto, o principal impacto da I4.0 é sua capacidade de produzir e acessar informações em tempo real para permitir maior visibilidade e mitigar riscos na rede da cadeia de suprimentos (Bag, Gupta & Kumar, 2021). Sendo assim, A I4.0 permitiu que as empresas consigam trocar informações, executar ações e se controlar de forma independente (Chauhan, Jakhar & Chauhan, 2021).

A I4.0 está transformando a gestão de operações em áreas como automação e manufatura industrial, gestão da cadeia de suprimentos, produção enxuta e gestão de qualidade total (Kristoffersen et al., 2020). Ela tem a capacidade de usar dados históricos para melhorar a qualidade de produtos por detectar determinados comportamento anormais e ajustar os limites de desempenho em sistemas produtivos. Além disso, o melhor compartilhamento de informações em toda a cadeia de valor ajuda a controlar e fazer ajustes em tempo real das operações de acordo com a demanda variável, aumentando assim a eficiência operacional e fornecendo informações sobre o potencial para novos produtos, serviços e modelos de negócios (Kristoffersen et al., 2020). Com isto, esta abordagem toma como base a integração do negócio e processos de fabricação e todos os atores da cadeia de valor da empresa e intimamente ligados com questões de produção e sustentabilidade. A produção mais limpa e a Responsabilidade Social Corporativa proporcionam implicações importantes para os avanços da I4.0 em todo o mundo (Lu et al., 2020).

3 Procedimentos Metodológicos

Para o levantamento da base teórica foi realizado uma Revisão Sistemática de Literatura. A realização desta meta-síntese compreendeu na busca de estudos previamente publicadas nas bases de dados base de dados Scopus e Web of Science. Foram localizados 63 artigos. Todos estavam disponíveis em formato completo e foram publicados em journals de alto impacto. A busca foi realizada no dia 17 de outubro de 2020, nas línguas inglesas, espanhola e portuguesa. Foi efetuada a leitura detalhada de cada um destes artigos. Para a análise destes estudos, foi adotado o protocolo de pesquisa de Tranfield, Denyer e Smart (2003). Sendo assim, foram seguidos os seguintes estágios, fase, etapas e detalhamento, conforme Tabela 1:

Tabela 1 – Percurso metodológico do estudo

Estágios	Fases	Etapas	Detalhamento
Estágio I: Planejamento da Revisão	1	Proposta de Revisão	Realização de uma meta-análise de estudos progressos que versam sobre EC e Industria 4.0
	2	Desenvolvimento do Protocolo de Revisão	O protocolo utilizado seguiu os seguintes parâmetros: <u>1 - Strings de busca:</u> "circular economy" OR "circular economy*" AND "Artificial intelligence" OR "industry 4.0" OR "digital Technologies" OR "smart factory" OR "Deep learning" OR "Machine learning" OR "Artificial Neural Networks" OR "Natural Language Processing" OR "Expert systems" OR "Fuzzy" OR "convolutional neural network" OR "advanced manufacturing". <u>2 - Base de dados consultadas:</u> Scopus e Web of Science; <u>3 - Critério de inclusão dos estudos:</u> publicações nas áreas de Business, Management e Accounting; <u>4 - Estudos disponíveis na íntegra,</u> sendo assim, o texto completo;
Estágio II: Condução da Revisão	3	Seleção dos estudos	A seleção dos estudos foi realizada baixando todos os artigos disponíveis na íntegra, avaliando se estes estudos possuem aderência ao objetivo proposto. Após isto, efetuar a tabulação dos dados em planilha Excel, no qual foi incluso colunas específicas para sistematizar os dados de interesse para este estudo, tais quais, título do artigo, autor, ano, jornal, objetivo geral do estudo, tipo de estudo, limitações de pesquisa e recomendações para futuros estudos
	4	Síntese dos dados	As informações foram sintetizadas em gráficos, tabelas e quadros sínteses, para que permitissem responder à pergunta de pesquisa
Estágio III: Apresentação dos Resultados	5	Análise dos dados	Compreendeu mapear o status atual dos estudos progressos sobre EC e Industrial 4.0, buscando achar novos caminhos de pesquisa com base nos objetivos, limitações das pesquisas e recomendações para futuros estudos. Para apoio na categorização dados, os papers foram classificados como: revisão teórica, experimento, estudos de caso e survey
	6	Discussões e conclusões	Reflexão sobre os principais achados, com base nestas evidências, foram construídas proposições que possam permitir novos estudos, de forma inédita e original, no âmbito do campo da administração e negócios. As conclusões foram tecidas de modo a destacar as contribuições práticas e teóricas do estudo realizado.

4 Apresentação e análise dos resultados

Nesta seção apresentamos uma breve descrição do perfil dos artigos analisados, os principais periódicos pesquisados, os anos de sua publicação e também a classificação do estudo. Logo após são apresentadas as possíveis interfaces existentes entre EC e I4.0. Na terceira subseção são descritos os avanços para o campo da EC suportadas pela I4.0 e, por fim, as possíveis novas avenidas de estudos, com base nos principais objetivos, lacunas e sugestões de estudos futuros.

4.1 Perfil dos Artigos Analisados

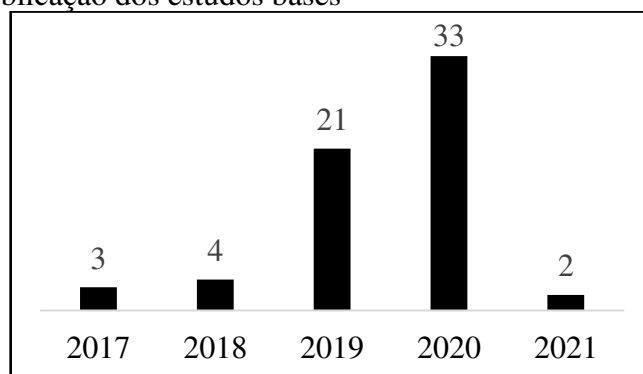
Todos os 63 artigos analisados foram extraídos de periódicos de alto impacto de bases internacionais. Como apresentado na tabela 2, grande parte dos estudos foram pesquisados no Journal of Cleaner Production, tendo como segunda fonte o periódico Benchmarking: An International Journal. Contudo, houve uma pulverização de fontes de coleta de informações, tendo 7 periódicos utilizados com 2 artigos coletados em cada um destes. E, por fim, outros 17 journals onde foram coletados 1 estudo em cada uma destes os quais destacamos como “outros” na tabela 2.

Tabela 2 – Perfil dos Journals analisados

Journal	Total	%
Journal of Cleaner Production	27	42,86%
Benchmarking: An International Journal	4	6,35%
Business Strategy and the Environment	2	3,17%
Global Business Review	2	3,17%
International Journal of Production Research	2	3,17%
Journal of Industrial Integration and Management	2	3,17%
Management Decision	2	3,17%
Journal of Manufacturing Technology Management	2	3,17%
Supply Chain Management: An International Journal	2	3,17%
Outros	18	28,57%

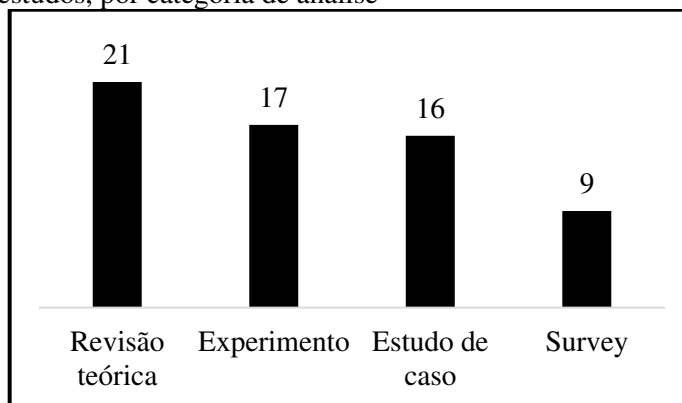
Como observado na Figura 2, os anos de 2019 e 2020 foram os quais tiveram a grande maioria dos estudos publicados, sendo que o segundo foi a ano com maior volume. Destaca-se também que o ano de 2021 já possui 2 estudos publicados, sendo que a pesquisa foi em 2020. Contudo, os anos de 2017 e 2018 também aparecem na amostra. Estes números destacam que os estudos pesquisados forma recentemente publicados nos journals pesquisados.

Figura 2 – Ano de publicação dos estudos bases



Para a análise e categorização dos dados, os papers foram classificados nas categorias de revisão teórica, experimento, estudos de caso e survey. Conforme o gráfico apresentado na figura 3.

Figura 3 – Perfil dos estudos, por categoria de análise



A maioria dos estudos se concentra em revisões teóricas sobre os temas de estudo. Contudo, experimentos e também estudos de caso possuem um número considerável de papers. Por fim, as surveys (pesquisas quantitativas) são um menor número, mas também possuem relevância nesta amostra.

4.2 Interfaces existentes entre Economia Circular e Indústria 4.0

Após analisar o perfil dos estudos progressos, nesta sub-seção identificaremos as interfaces existentes entre a EC e a I4.0. Com base na Revisão Sistemática de Literatura efetuada listamos as principais contribuições entre estas áreas de estudo. Estes conceitos foram explícitos pelos autores em seus estudos. A sustentabilidade pode ser alcançada integrando a EC e a I4.0 em um nível teórico, contudo, esta interação é complexa. Alguns pesquisadores criticam esta interação, por não ter uma definição adequada. O objetivo da sinergia entre EC e I4.0 está na conquista da sustentabilidade por meio do progresso tecnológico e reconstrução de estruturas industriais, para posteriormente alcançar maior eficiência de recursos e modelos econômicos razoáveis. (Zhou, Song & Cui, 2020).

Empresas com menor adesão a técnicas de I4.0 tem maior dificuldade em implementar os 10R, sendo estas empresas com menor número de funcionários e menor poder de investimentos. Na contramão disto, as empresas de manufatura com alto grau de adoção de técnicas de I4.0 demonstrarão um nível mais alto de recursos de manufatura avançada e, conseqüentemente, adotar os 10R. As capacidades avançadas de manufatura têm uma influência positiva nos resultados do desenvolvimento sustentável. A utilização da I4.0 tem efeito moderador na utilização dos 10R nos sistemas de fabricação. A utilização da I4.0 pode melhorar o desempenho operacional na fabricação avançada com adoção dos 10R e melhorar o desempenho da EC e, conseqüentemente atingir metas de desenvolvimento sustentável (Bag, Gupta e Kumar, 2021).

A aplicação de tecnologias da I4.0 pode fornecer um resultado positivo na direção para a responsabilidade social, corporativa e sustentável das operações. A aplicação de tecnologia altamente avançada em práticas sustentáveis pode proporcionar vantagem competitiva para organizações de manufatura de economias desenvolvidas, sendo que as tecnologias da I4.0 ajudarão na transição da economia linear para a EC. As práticas avançadas da I4.0 podem reduzir custos, melhorar a sustentabilidade e fornecer produtos personalizáveis aos clientes. No ambiente ciberfísico, as máquinas possuem a capacidade de comunicar, coletar informações e

informar decisões por coleta de dados em tempo real por meio de ferramentas como IoT, AI, Bigdata, informações nas nuvens, etc. As tecnologias da I4.0 ajudarão na gestão eficaz do ciclo de vida de produtos na era da EC. Portanto, para fornecer um novo ambiente inovador na indústria, os gestores precisam adotar ou implementar as tecnologias mais recentes (Kumar et al., 2020).

Os métodos de Produção Mais Limpa são essenciais para alcançar sucesso em abordagens da economias circulares. A I4.0 suporta estes métodos, focando em suas tecnologias inteligentes sustentados, aumentando a capacidade de interconexão de pessoas e recursos de informação, além da cadeia de valor, as quais potencializam a inovação, o bem-estar e o emprego. Assim, ao adotar a I4.0, a EC pode suficientemente distribuir, criar e coletar valor por meio de estratégias de negócios, e com isto gerar ganhos de vantagem competitiva (Lu et al., 2020). Com base na tecnologia da IoT, os dados de energia em tempo real podem ser coletados e analisados para alcançar uma melhor performance, que carece de controle durante todo o processo de fabricação. A análise de Big Data oferece novas oportunidades para a implementação de estratégias de produção mais limpa, devido ao aumento de dados gerados em uso intensivo de energia nas indústrias manufatureiras. (Ma et al., 2020; Wang et al., 2020).

O uso inteligente de recursos na EC pode ser apoiado pela criação, extração, processamento e compartilhamento de dados da I4.0. O uso eficaz desta transformação digital será fundamental para organizações na transição e aproveitamento da EC em escala, formando assim um novo conceito, a Economia Circular Inteligente. Esta ligação entre os conceitos pode oferecer um suporte mais eficiente em termos de recursos, especialmente para indústrias manufatureiras (Kristoffersen et al., 2020).

4.3 Avanços para o campo da Economia Circular suportadas pela Indústria 4.0

Com base na Revisão Sistemática de Literatura efetuada, enumeraremos as contribuições que a I4.0 pode trazer para a EC. Estes conceitos forma explícitos pelos autores em seus estudos. Evidenciamos os seguintes possíveis avanços:

Artificial Neural Networks: São redes que reconhecem padrões úteis na rastreabilidade dos produtos que são disponibilizados ao mercado e são essenciais para criação de banco de dados contendo informações sobre disposição final de produtos, pontos estratégicos para coleta de materiais obsoletos e regiões estratégicas para instalação de associações que gerenciam os resíduos. Objetiva a busca da circularidade dos materiais no projeto e execução, contribuindo assim para a EC. Trouxe também a tona a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina para estimar a quantidade de materiais recicláveis, reutilizáveis e residuais nos processos produtivos. Ajuda também na rastreabilidade e previsibilidade do fim de vida (EoL) do material, apoiando a previsibilidade de compra para novos produtos (Akanbi et al., 2020).

Automação: É um conjunto de tecnologias que podem utilizar sensores, IoT, RFID entre outros. É uma alternativa para o desenvolvimento de práticas comerciais éticas, podendo ser utilizada para fins preditivos ou até para análises cognitivas. Busca minimizar o custo total e o consumo de energia elétrica utilizada nos maquinários produtivos (Rajput & Sing, 2020).

Big Data: É o sistema que gera dados volumosos e efetua a formatação e redução de dados, efetuando com um isto um padrão oculto destas informações. Permite que os dados sejam virtualizados para que possam ser armazenados da maneira mais eficiente e econômica, ocorrendo com a opção de armazenagem na nuvem. Esta tecnologia apoia na obtenção de uma produção mais limpa, reduzindo a emissão de carbono na atmosfera e também reduções de lead time em ciclos de produção (Rajput & Sing, 2020; Bag & Pretorius, 2020).

Blockchain: São livros digitais distribuídos que mantêm registros e transações criptografados, tendo a capacidade de operar de forma independente, sem a necessidade de comunicação com outros agentes, para confirmar a credibilidade das transações. Ela envolve algumas dimensões que podem transformar e beneficiar os processos de negócios atuais. Sendo que estes recursos

suportam a transparência da informação e torna esta tecnologia confiável. Objetiva alavancar práticas de circularidade. A fonte de materiais e produtos, atores envolvidos, processos, consumo de energia e o fim do ciclo de vida, são exemplos de informações que podem ser disponibilizados por esta tecnologia. Uma solução de Blockchain integrado com dispositivos de rastreamento GPS, por exemplo, podem habilitar materiais e produtos rastreados ao longo de seu ciclo de vida. A utilização destas tecnologias pode maximizar resultados de programas de reciclagem e circularidade (Kouhizadeh, Zhu & Sarkis, 2019; Ma et al., 2020).

Convolutional Neural Networks: É uma classe de rede neural artificial do tipo feed-forward e é aplicada com o processamento e a análise de imagens digitais. Estas redes podem ser utilizadas na EC para captar uma imagem de entrada, atribuir importância (peso e vieses que podem ser aprendidos), características do objeto, conseguindo definir a diferenciação dos objetos entre eles. Por exemplo, identificar se um objeto foi fabricado utilizando matéria prima de reuso de um objeto que usa materiais virgens. Esta tecnologia, pode facilitar o planejamento adequado para recuperação de materiais e reaproveitar no final da vida, sendo fundamental ter acesso às informações sobre o tipo de material e as quantidades que seriam geradas do processo (Akanbi et al., 2020).

Deep Learning (DL): É uma técnica computacional que utiliza múltiplas camadas de processamento ocultas para aprender representações de dados e relação com vários níveis de abstração. Modelos de aprendizagem profunda são redes neurais que são feitas de três camadas principais, ou seja, camadas de entrada, ocultas e de saída. Esta tecnologia pode ser usada para gerar grandes quantidades de dados para entendimento do comportamento do cliente, permitindo a coleta de dados durante o intervalo de tempo que este está conectado a uma URL. Esses dados gerados são utilizados para otimização do site, para tornar a experiência de navegação mais envolvente para o cliente. O uso de um conjunto de algoritmos para modelagem de atrações é uma perspectiva inovadora para aplicabilidade na EC. Esta técnica pode prover um suporte técnico personalizado em sites que disseminam as premissas da EC. Assim, a assistência técnica remota ao cliente passa a ser prestada pela própria máquina (Lieder, Asif & Rashid, 2020; Akanbi et al. 2020).

Digitalização: Esta tecnologia adicionou nos processos industriais de manufatura novas possibilidades ao gerenciamento de dados, inteligência artificial e redes e sistemas de resiliência. Contribui para a EC via geração de dados, redução de custos dos processos, provisão de informações para a tomada de decisão com precisão e em tempo real (Rajput & Sing, 2020).

Integração de componentes onipresentes e inteligentes nas cadeias de suprimentos: Possibilita a atualização de um conjunto de elementos que contribuem para a redução de custos nas cadeias de suprimentos e permitem verificar resultados em termos de sensoriamento remoto, rastreabilidade, monitoramento em tempo real e controle de resultados e não conformidades. Contribui para o avanço da EC na maximização de aspectos como promoção de estímulos a sistemas de produção mais limpos, a sistemas produtivos éticos e também a transparência nos processos (Rajput & Sing, 2020).

Internet das Coisas (IoT): Esta tecnologia utiliza combinações de dispositivos para produzir dados, enviá-los para outros dispositivos e, em seguida, enviá-los para a nuvem. Estes códigos são úteis quando se trata de decisões de gerenciamento e mineração de dados realizada por analistas de negócios que extraem informações importantes dos dados. Geralmente estes dados são coletados por sensores inteligentes que aumentam a credibilidade na tomada de decisão e eliminam inconsistências. A utilização da IoT pode estender o ciclo de vida do produto, sendo uma a utilização de novas estratégias de gestão de resíduos em cidades inteligentes, criando colaboração entre os agentes ou até mesmo melhorando o nível de circularidade dos processos metalúrgicos. Outra oportunidade para explorar a IoT é a digitalização das práticas de EC, implementando ambientes industriais inteligentes (Rosa et al., 2019; Bag, Gupta & Kumar, 2021; Rajput & Sing, 2020).

Machine learning: O aprendizado de máquina, onde os computadores têm a capacidade de aprender de acordo com a resposta esperada via associação de diferentes dados. Esses dados podem ser imagens, números, mapas, fotografias, etc. E são bases de dados gigantescas. Os algoritmos de aprendizado de máquina são simulação baseada em dados e os modelos de simulação podem ser usados para gerar grandes quantidades de dados. Ambos os programas de simulação podem criar grandes fluxos de dados aleatórios ao longo do tempo. O resultado deste algoritmo de comportamento de escolha pode ser usado e conectado às previsões da cadeia de suprimentos, a fim de otimizar operações em fluxo direto e reverso. Os estudos existentes têm mostrado que a combinação de fatores de impacto ambiental, mais elementos de serviço e mudanças de preços, ter um forte efeito sobre a preferência dos clientes, em particular aspectos de redução de emissão de carbono (Lieder, Asif & Rashid, 2020).

Manufatura aditiva: Esta tecnologia, que também é descrita como impressão 3D, é um conjunto de técnicas que permitem a produção de um espectro crescente de bens por meio da disposição em camadas de materiais, através da fabricação de objetos, camada por camada, de forma contínua ou incremental, em oposição a subtração e metodologias de manufatura formal. Pode dar suporte ao gerenciamento do ciclo de vida de produtos e processos, podendo atualizar as sistemáticas de reciclagem atuais - por meio de novas práticas sustentáveis, como, por exemplo, digitalizando o processo de fabricação ou apoiando a remanufatura de produtos ou componentes (Rosa et al., 2019; Tavares et al. 2020).

Remanufatura inteligente: Esta tecnologia pode ser utilizada nos produtos a serem remanufaturados ou até mesmo no equipamento usado, otimizar a tomada de decisão de fim de vida deste (EoL). Pode ser explorado o uso para a EC para apoio em atividades de remanufatura, sendo que as tecnologias capacitadoras para maximizar o crescimento da produtividade incluem robótica e manufatura aditiva, sendo estas integradas com análise de big data, inteligência artificial (AI) e sensores (Kerin & Pham 2019; 2020).

Sistemas Fuzzy Dematel: Estes sistemas permitem traduzir em termos matemáticos a informação imprecisa expressa por um conjunto de regras linguísticas, sendo que este é um método amplamente utilizado e tem a capacidade de fornecer o relacionamento casual entre os elementos em um sistema complexo. Este método matemático pode ser usado na EC para apoio na tomada de decisão para adoção de estratégias de realização de controles, classificação, previsão de séries, planejamento e otimização, através de relações de causa/efeito (Khan & Haleem, 2020; Kumar, Singh & Dwivedi, 2020; Khandelwal & Barua, 2020).

Smart Factory: É o conceito que descreve a produção no foco da I4.0. São estruturas que contribuem para a redução dos desperdícios e no suporte a eficiência dos sistemas operacionais e de processamento. Esta tecnologia objetiva o aumento na qualidade do produto, segurança e sustentabilidade. Estas ações contribuem para o desenvolvimento da EC (Sharma, Jabbour & Jabbour, 2020).

Com base no apresentado em estudos progressos, verificamos que as tecnologias da I4.0 contribuem para em diversos aspectos para a aplicação da EC. A utilização destas tecnologias, aliadas a práticas em manufatura, cadeia de suprimentos, desenvolvimento de produtos, entre outros, objetivam a maximização da utilização destes dois campos teóricos. Como exemplo, a aplicação da IoT em cadeia de suprimentos circulares, técnicas de manufatura aditiva, remanufatura inteligente e a Smart Factory são fatores que tendem a mitigar os efeitos nocivos dos processos de manufatura, por menor que eles sejam.

4.4 – Análise de conteúdo com base nos objetivos, limitações de pesquisa e recomendações para futuros estudos

Muitos são os achados e pressupostos teóricos levantados nos estudos anteriores. Conforme a análise e categorização dos dados, apresentaremos estas premissas de acordo com esta classificação, para conseguirmos gerar pressupostos para próximas pesquisas e responder

à pergunta deste estudo, descreveremos estes achados utilizando as classificações em revisões teóricas, estudos de caso, experimentos e surveys.

Revisões teóricas: O objetivo de desenvolver uma estrutura de pesquisa mostrando os principais caminhos acerca dos constructos I4.0 e EC e tentar compreender este novo paradigma da conexão para resolver os problemas relativos aos princípios de manufatura sustentável foram descritos em diversos artigos, sugerindo agendas, tanto teóricas como gerenciais, as quais visam beneficiar a obtenção de produção e consumo sustentáveis por meio da análise dos avanços tecnológicos, como também suas possíveis barreiras para implementação conforme mencionam os autores Bag e Pretorius, (2020); Chauhan e Singh, (2019); Rajput e Singh, (2019); Erro-Garcés, (2019); D'Amato et al., (2017); Engeland et al., (2018). Os autores Van Fan et al. (2019) apresentam uma visão geral das conquistas da produção mais limpa e seleção de trabalhos recentes relevantes os quais lidam com ferramentas de otimização e design de processo. Algumas destas revisões, focaram em levantar arcabouços teóricos sobre a I4.0 (Rejikumar et al., 2019). Já Sehnem et al. (2019) investigaram as sobreposições, complementaridades e divergências entre a literatura sobre modelos da EC, tais quais, logística reversa, circuito fechado, simbiose industrial e ecologia industrial.

Experimentos: Apresentaram estudos práticos, em sua concepção, os quais podemos destacar: (i) Desenvolver e otimizar um modelo matemático baseado em um quadro que integra os principais conceitos relacionados a EC e a economia de compartilhamento para um fabricante líder de laptops na Índia (Jayakumar & Hasibuan, 2020); (ii) a análise da intensidade dos principais impulsionadores da manufatura enxuta que auxiliam a adoção do Lean Manufacturing em empresas de manufatura em economias em desenvolvimento (Yadav et al., 2019); (iii) projetar e implementar uma ferramenta de suporte à decisão baseada na web para as estratégias da cadeia de suprimentos (Paul & Bussemaker, 2020); (iv) integrar essas duas correntes (I4.0 e EC) e tentar compreender o novo paradigma de para resolver os problemas relativos aos princípios de EC (Chauhan, Sharma & Singh, 2019) e (v) propor a gestão da cadeia de suprimentos usando um modelo de aprendizado de máquina para controle de energia na sustentabilidade de estrutura de custeio múltiplo (Wang & Zhang, 2020).

Estudos de caso: os principais objetivos versam sobre buscar identificar os principais desafios que impedem a adoção de aspectos da I4.0 e EC em uma cadeia de suprimentos sustentável em uma indústria automobilística na Índia (Yadav et al., 2020), no mesmo caminho buscou se explorar a relação entre estes conceitos no Brasil, bem como apresentar caminhos estratégicos para superar as limitações para superação destes em países emergentes (Cezarino et al., 2019). Em outro contexto, um objetivo apresentado foi o de explorar como esta integração pode estabelecer um modelo de negócio que reutiliza e recicla lixo eletrônico (Nascimento et al., 2018). Explorar como as tecnologias emergentes da Indústria 4.0 podem ser integradas ao paradigma PSS para estabelecer um novo modo de operação (Wang et al., 2020). Fornecer uma análise sistemática das inter-relações de motivadores para transição para a economia circular (Gue et al., 2021). Investigar as questões e oportunidades para desenvolver um sistema de gestão inteligente para lixo sustentável (Fatimah et al., 2020). Identificar as barreiras que influenciam a adoção de CSCM na indústria de plástico indiana (Khandelwal & Barua, 2020). Explorar a contribuição potencial dos provedores de capacidade para um Ambiente I4.0 Sustentável como uma perspectiva adicional sobre as decisões de gestão de um modelo de negócios inteligente e sustentável, visando a transformação de grandes corporações (Lardo et al., 2020).

Surveys: Foi possível identificar e analisar as relações causa-efeito entre as barreiras para implantação de cadeias circulares de suprimentos de alimentos na China (Farooque, Zhang & Liu, 2019). Outro estudo analisa o efeito das práticas da EC no desempenho da empresa para uma cadeia de suprimentos circular e explora o papel moderador que o Big Data desempenha dentro desses relacionamentos (Del Giudice et al., 2020). Para finalizar, identificar os KPIs

mais relevantes em diferentes perspectivas, com foco na excelência operacional em direção à sustentabilidade na indústria de produtos de couro foi o cerne do estudo de Moktadir et al., (2020),

Já a análise das limitações dos estudos progressos nos permitiu agrupar os seguintes achados: O tamanho da amostra é pequeno ou o estudo sendo efetuado somente em um determinado setor do mercado como demonstram os estudos de Lu et al., (2020); Akinade e Oyedele (2019); Bag, Gupta e Kumar (2021); Del Giudice et al. (2020); Engeland et al. (2018); Sandvik e Stubbs (2019); Wang et al. (2020). A revisão teórica somente efetuada em, no máximo, duas línguas (inglesa ou espanhola) (Chauhan & Singh, 2019); (Erro-Garcés,2019), em somente um banco de dados, o Scopus (Sehnm et al., 2019) ou com baixo número de artigos, sendo este número de 10 estudos (Tavares et al., 2020). Estudos com respostas subjetivas dos entrevistados foram evidenciados por Del Giudice et al. (2020); Kumar, Singh e Dwivedi (2020); Rajput e Singh (2019); Yadav et al. (2019). A sugestão de validação empírica do modelo teórico proposto, foram propostos por Chauhan, Sharma e Singh (2019); Chidepatil et al. (2020) O estudo foi efetuado somente em um país (Khandelwal & Barua, 2020); (Bag, Gupta & Kumar,2021); (Akinade & Oyedele,2019); (Akanbi et al., 2020); (Yadav et al., 2020); (Zhang et al., 2019). Os constructos da pesquisa (EC e I4.0) ainda são relativamente novos, necessitando de mais investigação, conforme descreve Del Giudice et al., (2020) e Rejikumaret al. (2019). E, para finalizar, levantamento dos dados foram efetuados em especialistas do tema, o que pode gerar viés na pesquisa, conforme descrevem os estudos de Yadav et al. (2019), Zhao, Zhao e Guo (2017) e Chauhan, Jakhar e Chauhan (2021). Sendo assim, esta completa análise dos estudos nos dá uma visão abrangente para levantarmos pressupostos teóricos para futuros estudos. Os quais serão apresentados na subseção a seguir.

4.5 - Proposições teóricas para estudos futuros

Com base na identificação das possíveis interfaces existentes entre Economia Circular e Indústria 4.0, os avanços para o campo da Economia Circular suportadas pela Indústria 4.0 e a análise de conteúdo com base nos objetivos, limitações de pesquisa e recomendações para futuros estudos, apresentamos seis pressupostos teóricos para futuros pesquisas.

Proposição 1 - Verificar a aplicação de tecnologias da I4.0 para a alavancagem da produção mais limpa em indústrias manufatureiras.

Com o objetivo de tornar a manufatura mais eficiente, muitos esforços de pesquisa foram dedicados a alcançar uma produção mais limpa para mitigar os danos ao meio ambiente. Sendo que as indústrias estão constantemente enfrentando problemas para adotar uma produção mais limpa. Estudos anteriores apresentam resultados mostrando que a utilização de tecnologias da I4.0, tais quais a IoT, Big Data, a e a digitalização constituem um avanço para a EC, oferecendo a redução de emissão de gases nocivos ao meio ambiente, menos utilização de energia elétrica e mitigando a desperdício de materiais. Estas técnicas também podem apoiar sistemas de remanufatura inteligente. Este pressuposto tomou como base os estudos de Ma et al., (2020), Yadav et al., (2020), Nascimento et al., (2018), Rajput e Singh (2019); Rajput e Sing, (2020), Rosa et al., (2019); Kerin e Pham (2019); Kerin e Pham, (2020); Farooque, Zhang Liu, (2019); Erro-Garcés, (2019); Moktadir et al., (2020); Lu et al. (2020); Yadav et al., (2019).

Proposição 2 – Analisar a utilização de Blockchain e Big Data como apoio na otimização de cadeia de suprimentos circulares.

As tecnologias do Blockchain e Big Data juntamente com a EC podem transformar as atividades organizacionais por meio de inovações. As características destas tecnologias incluem a transparência-rastreabilidade, confiabilidade-segurança e execução inteligente das atividades operacionais. Estas características potenciais podem alavancar a reutilização de materiais,

upcycling, programas de reciclagem e circularidade e a gestão de desempenho das cadeias de suprimento circulares. Tomamos com base os autores Kouhizadeh, Zhu e Sarkis, (2019) e Del Giudice et al., (2020).

Proposição 3 - Propor uma matriz de cruzamento da IoT com os 10R na aplicação da manufatura avançada visando a aplicação das metas do ODS.

Propor uma agenda de transição para a EC, utilizando a tecnologia da IoT no gerenciamento dos 10R dentro das manufaturas avançadas, tomando como guia as 17 metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU. Objetivando o crescimento da performance das organizações a serem estudadas. Os estudos progressos para esta sugestão foram Rosa et al., (2019); Bag, Gupta e Kumar (2021); Rajput e Sing, (2020); Lechner e Marc, (2019); Engeland et al., (2018); Paul e Bussemaker (2020).

Proposição 4 - Levantar os impactos da adoção da manufatura aditiva no incremento de ações para a EC.

Verificar a relação entre os objetivos da EC e a redução de custos com a utilização da impressão 3D como sistema de produção, visto que ainda se debate em estudos acadêmicos, os efeitos práticos sobre na EC no contexto de uma produção baseada na Manufatura Aditiva. Tomamos com base o artigos de Rosa et al., (2019) e Tavares et al., (2020) para esta definição.

Proposição 5 - Buscar uma melhor compreensão de como as tecnologias da I4.0 e EC podem apoiar adequadamente a percepção dos Stakeholders para estes novos paradigmas.

Compreender a interação entre as pressões das partes interessadas (com foco nos clientes, fornecedores, colaboradores, poder público, sócios e comunidade), os recursos tangíveis e habilidades humanas para a adoção de tecnologias da I4.0 e EC. Sendo que o Brasil está muito atrás dos países desenvolvidos na busca pela capacidade de trabalhar a EC por meio de mudanças tecnológicas industriais. Os principais problemas são relacionado à falta de articulação das esferas públicas e privadas para a promoção de novos modelos de negócios circulares. Os estudos basilares para esta definição foram Cezarino et al., (2019); Gue et al., (2021). Engeland et al., (2018); Sehnem et al. (2019), Zhou, Song e Cui, (2020); Bag e Pretorius, (2020).

Proposição 6 - Entender os fatores motivadores e dificultadores para adoção da I4.0 e EC em cadeias de suprimentos em organizações de pequeno e médio porte.

Estudos futuros podem investigar barreiras ou facilitadores para a implementação de novas tecnologias em diferentes setores. Muitas áreas, como, por exemplo, cadeia de suprimentos do setor da saúde começaram a explorar a Indústria 4.0. No entanto, poucos casos específicos relataram sobre estes estudos. Para as perspectivas futuras, o estudo detalhado das barreiras e compreensão de sua tecnologia subjacente facilita a implementação eficaz da I4.0. Estes fatores podem motivar o desenvolvimento técnico de produtos de reutilização e remanufatura, com isto dedicar mais atenção a automação e inovação dos processos. Os estudos que tomamos como base para esta futura avenida de estudos foram os dos autores Rajput e Singh, (2019); Engeland et al., (2018); Chauhan, Sharma e Singh (2019); Wang e Zhang (2020); Khandelwal e Barua, (2020); Rejikumar et al., (2019); Farooque, Zhang, e Liu, (2019).

5 Considerações Finais

Este estudo procurou analisar os estudos que abordam a interface existente entre EC e I4.0. A revolução digital trouxe muitos desafios e oportunidades para a manufatura das

organizações. Contudo o impacto da adoção de tecnologias da I4.0 na EC ainda carecem de mais pesquisas e aplicações nas organizações, principalmente no que tange o mercado brasileiro (Cezarino et al., 2019). Estas tecnologias podem influenciar positivamente a produção sustentável e nas capacidades de EC, visto que integração da I4.0 e a sustentabilidade está ainda em estágios iniciais. Os gestores das organizações, principalmente as manufatureiras. Precisam considerar a adoção de tecnologias da I4.0 para aumentar a performance da sustentabilidade empresarial (Zhang et al., 2019).

O objetivo de pesquisa proposto para este estudo foi atendido, pois apresentamos novos caminhos e desafios em relação aos dois campos teóricos estudados. Para esta resposta, efetuamos a análise das possíveis interfaces existentes entre a EC e a I4.0, os principais avanços para o campo da EC suportadas pela I4.0 foram descritos os principais objetivos gerais, limitações de pesquisa e recomendações para futuros estudos, com base nestas análise, a principal conclusão do estudo foi que novos cominhos e desafios ainda são necessários, tanto em nível teórico, como gerencial. Para tal, foi apresentado seis proposições para futuros estudos: Verificar a aplicação de tecnologias da I4.0 na produção mais limpa, analisar a utilização de tecnologias da I4.0 em cadeia de suprimentos circulares, propor o cruzamento da IoT com os 10R na aplicação da manufatura avançada com base nos ODS, levantar os impactos da adoção da manufatura aditiva na EC, buscar compreender como as tecnologias da I4.0 e EC podem apoiar a percepção dos Stakeholders para estes desafios e entender os fatores motivadores e dificultadores para adoção da I4.0 e EC em cadeias de suprimentos.

Como contribuição teórica do estudo, as interrelações entre os dois campos teóricos, mesmo que sejam temas ainda em desenvolvimento na academia, apresentam um arcabouço abrangente, podendo gerar novas campos de estudo interdisciplinares, tais quais, a Economia Circular Digital, A Indústria 4.0 Circular (Rosa et al., 2019) ou até mesmo a Economia Circular Inteligente (Kristoffersen et al., 2020). Podemos citar também, como contribuição, a apresentação das interrelações destes temas, com base nos artigos estudados, tais quais as suas interfaces e os possíveis avanços na EC suportados pela I4.0.

As contribuições práticas deste estudo versam sobre a aplicabilidade dos pressupostos levantados em indústrias de diversos setores. Contudo, conforme verificado em alguns dos estudos, as pequenas e médias empresas necessitam de maior atenção neste aspecto, pois carecem de capital financeiro para aplicação destas técnicas, conforme afirmam os autores Kumar, Singh e Dwivedi (2020) e Lu et al. (2020). Como implicações gerenciais podemos sugerir uma agenda de transição para a EC, utilizando tecnologias da I4.0 para pessoal de nível operacional, tático e estratégicos das organizações. Como também possíveis estratégias de utilização em campos específicos de estudo, tais quais, no gerenciamento da cadeia de suprimentos e na manufatura de produtos em si.

Este estudo teve suas limitações, tais quais, apesar de consistente, a base de amostra de estudos progressos ainda é recente, carecendo de maior profundidade de pesquisa. As strings de pesquisa podem ter minimizado o número de estudos levantados, o que poderia gerar uma amostra maior de estudos. A grande parte dos estudos levantados são pesquisas bibliográficas, o que evidencia que se trata de um tema embrionário, e que carece de maiores estudos empíricos. Como também, o viés dos pesquisadores também deve ser levado em conta.

Além dos seis pressupostos já apresentados anteriormente, recomendamos também para futuros estudos as seguintes sugestões, as quais tomaram como base os papers desta RSL: Replicar os estudos já efetuados alterando a abordagem de pesquisa, de qualitativa para quantitativa (Del Giudice et al., 2020; Hankammer et al. 2019; Kristoffersen et al. 2020; Lardo et al., 2020; Yadav et al., 2020; Zhang et al. 2019) ou utilizar a mesma abordagem, mas aprimorando o instrumento de coleta de dados (Fatimah et al., 2020). A utilização da interface entre os campos teóricos, focando no contexto social da sustentabilidade (Ma et al., 2020; Sharma, Jabbour & Jabbour, 2020). Descrever e analisar a transição de uma fábrica tradicional,

para uma que adote a EC e I4.0 (Erro-Garcés, 2019). A aplicação do modelo teórico, proposto no estudo, no campo prático (Gan et al., 2020; Gue et al. , 2021; Kerin & Pham, 2020; Kristoffersen et al. 2020). Propor a maior aproximação das universidades junto as indústrias para promover a simbiose entre EC e I4.0 (Ramakrishna et al., 2020). E por fim, a replicação do estudo no contexto de outro país (Sandvik & Stubbs, 2019).

Referências

- Akanbi, L. A., Oyedele, A. O., Oyedele, L. O., & Salami, R. O. (2020). Deep learning model for Demolition Waste Prediction in a Circular Economy. *Journal of Cleaner Production*, 122843.
- Akinade, O. O., & Oyedele, L. O. (2019). Integrating construction supply chains within a circular economy: An ANFIS-based waste analytics system (A-WAS). *Journal of Cleaner Production*.
- Bag, S., & Pretorius, J. H. C. (2020). Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: proposal of a research framework. *International Journal of Organizational Analysis*. doi:10.1108/ijoa-04-2020-2120.
- Bag, S., Gupta, S., & Kumar, S. (2021). Industry 4.0 adoption and 10R advance manufacturing capabilities for sustainable development. *International Journal of Production Economics*, 107844. doi:10.1016/j.ijpe.2020.107844.
- Cezarino, L. O., Liboni, L. B., Oliveira Stefanelli, N., Oliveira, B. G., & Stocco, L. C. (2019). Diving into emerging economies bottleneck: Industry 4.0 and implications for circular economy. *Management Decision*.
- Chauhan, A., Jakhar, S. K., & Chauhan, C. (2021). The interplay of circular economy with industry 4.0 enabled smart city drivers of healthcare waste disposal. *Journal of Cleaner Production*, 123854.
- Chauhan, C., & Singh, A. (2019). A review of Industry 4.0 in supply chain management studies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, doi:10.1108/jmtm-04-2018-0105.
- Chauhan, C; Sharma, A. & Singh, A. (2019) A SAP-LAP linkages framework for integrating Industry 4.0 and circular economy. *Benchmarking: An International Journal*. DOI 10.1108/BIJ-10-2018-0310.
- Chidepatil, A., Bindra, P., Kulkarni, D., Qazi, M., Kshirsagar, M., & Sankaran, K. (2020). From Trash to Cash: How Blockchain and Multi-Sensor-Driven Artificial Intelligence Can Transform Circular Economy of Plastic Waste? *Administrative Sciences*, 10(2), 23. doi:10.3390/admsci10020023.D'Amato, D., Droste, N.,
- Allen, B., Kettunen, M., Lähtinen, K., Korhonen, J. Toppinen, A. (2017). Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. *Journal of Cleaner Production*, 168, 716–734. doi:10.1016/j.jclepro.2017.09.053.
- Del Giudice, M., Chierici, R., Mazzucchelli, A., & Fiano, F. (2020). Supply chain management in the era of circular economy: the moderating effect of big data. *The International Journal of Logistics Management*. doi:10.1108/ijlm-03-2020-0119.
- Engeland, J. V., Beliën, J., Boeck, L. D., & Jaeger, S. D. (2018). Literature Review: Strategic Network Optimization Models in Waste Reverse Supply Chains. *Omega*. doi:10.1016/j.omega.2018.12.001.
- Erro-Garcés, A (2019). Industry 4.0: defining the research agenda. *Benchmarking: An International Journal*. DOI 10.1108/BIJ-12-2018-0444.
- Farooque, M., Zhang, A., & Liu, Y. (2019). Barriers to circular food supply chains in China. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(5), 677–696. doi:10.1108/scm-10-2018-0345.
- Fatimah, Y.A. Govindan, K. Murniningsih, R. & Setiawan, A. A. (2020). Sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: Case study in Indonesia, *Journal of Cleaner Production*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263>.
- Gan, V.J.L., Lo I.M.C., Ma,J., Tse K.T., Cheng, J. C.P.,Chan C.M., (2020), Simulation optimisation towards energy efficient green buildings: Current status and future trends, *Journal of Cleaner Production*, Volume 254,120012,ISSN 0959-6526, Doi:10.1016/j.jclepro.2020.120012.

- Gue, I. H. V., Promentilla, M. A. B., Tan, R. R., & Ubando, A. T. (2020). Sector perception of circular economy driver interrelationships. *Journal of Cleaner Production*, 123204. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123204.
- Jayakumar, J., K., J., K.E.K., V., & Hasibuan, S. (2020). Modelling of sharing networks in the circular economy. *Journal of Modelling in Management*, 15(2), 407–440. doi:10.1108/jm2-05-2019-0101.
- Kerin, M., & Pham, D. T. (2019). A Review of Emerging Industry 4.0 Technologies in Remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 117805. doi:10.1016/j.jclepro.2019.117805.
- Kerin, M., & Pham, D. T. (2020). Smart remanufacturing: a review and research framework. *Journal of Manufacturing Technology Management*. DOI 10.1108/JMTM-06-2019-0205.
- Khan, S., & Haleem, A. (2020). Strategies to implement Circular economy practices: A fuzzy DEMATEL approach. *Journal of Industrial Integration and Management*. doi:10.1142/s2424862220500050.
- Khandelwal, C., & Barua, M. K. (2020). Prioritizing Circular Supply Chain Management Barriers Using Fuzzy AHP: Case of the Indian Plastic Industry. *Global Business Review*, 097215092094881. doi:10.1177/0972150920948818.
- Kouhizadeh, M., Zhu, Q., & Sarkis, J. (2019). Blockchain and the circular economy: potential tensions and critical reflections from practice. *Production Planning & Control*, 1–17. doi:10.1080/09537287.2019.1695925.
- Kristoffersen, E., Blomsma, F., Mikalef, P., & Li, J. (2020). The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. *Journal of Business Research*, 120, 241–261.
- Kumar, R., Singh, R. K., & Dwivedi, Y. K. (2020). Application of Industry 4.0 technologies in Indian SMEs for sustainable growth: Analysis of challenges. *Journal of Cleaner Production*, 124063.
- Lardo, A., Mancini, D., Paoloni, N. & Russo, G. (2020). The perspective of capability providers in creating a sustainable I4.0 environment. *Management Decision*, Vol. 58 No. 8, pp. 1759-1777. doi:10.1108/MD-09-2019-1333.
- Lechner, G & Reimann, M (2019): Integrated decision-making in reverse logistics: na optimisation of interacting acquisition, grading and disposition processes, *International Journal of Production Research*, DOI: 10.1080/00207543.2019.1659518.
- Lieder, M., Asif, F. M. A., & Rashid, A. (2020). A choice behavior experiment with circular business models using machine learning and simulation modeling. *Journal of Cleaner Production*, 120894.
- Lu, J., Ren, L., Zhang, C., Rong, D., Ahmed, R. R., & Streimikis, J. (2020). Modified Carroll's Pyramid of Corporate Social Responsibility to Enhance Organizational Performance of SMEs Industry. *Journal of Cleaner Production*, 122456. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122456.
- Ma, S., Zhang, Y., Yang, H., Lv, J., Ren, S., & Liu, Y. (2020). Data-driven sustainable intelligent manufacturing based on demand response for energy-intensive industries. *Journal of Cleaner Production*, 123155.
- Moktadir, M. A., Dwivedi, A., Rahman, A., Chiappetta Jabbour, C. J., Paul, S. K., Sultana, R., & Madaan, J. (2020). An investigation of key performance indicators for operational excellence towards sustainability in the leather products industry. *Business Strategy and the Environment*.
- Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Lona, L. R., & Tortorella, G. (2018). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Paul, M. & Bussemaker, M. J. (2020). A web-based graphical interface system to support decision making for municipal solid waste management in England. *Journal of Cleaner Production*, 121461.
- Rajput, S., & Singh, S. P. (2019). Industry 4.0 – challenges to implement circular economy. *Benchmarking: An International Journal*. doi:10.1108/bij-12-2018-0430.

- Rajput, S., & Singh, S. P. (2020). Industry 4.0 Model for Circular Economy and Cleaner Production. *Journal of Cleaner Production*, 123853. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123853.
- Ramakrishna, S., Ngowi, A., Jager, H. D., & Awuzie, B. O. (2020). Emerging Industrial Revolution: Symbiosis of Industry 4.0 and Circular Economy: The Role of Universities. *Science, Technology and Society*, 25(3), 505–525. <https://doi.org/10.1177/0971721820912918>.
- Rejikumar, G. Raja, S.V., Arunprasad, P. & Sreeraj, K.M. (2019), Industry 4.0: key findings and analysis from the literature arena, *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 26 No. 8, pp. 2514-2542. doi:10.1108/BIJ-09-2018-0281.
- Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2019). Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 1–26.
- Sandvik, I. M., & Stubbs, W. (2019). Circular fashion supply chain through textile-to-textile recycling. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*. doi:10.1108/jfmm-04-2018-0058.
- Sehnm, S., Vazquez-Brust, D., Pereira, S. C. F., & Campos, L. M. S. (2019). Circular economy: benefits, impacts and overlapping. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(6), 784–804.
- Sharma, R., Jabbour, C. J. C., & Jabbour, A. B.L.S (2020). Sustainable manufacturing and industry 4.0: what we know and what we don't. *Journal of Enterprise Information Management*, doi:10.1108/jeim-01-2020-0024.
- Tavares, T. M., Godinho Filho, M., Ganga, G. D., Calfeff, N. H., (2020). The Relationship Between Additive Manufacturing and Circular Economy: A Sistematic Review. *Independent Journal of Management & Production (IJM&P)*. v. 11, n. 5, Special Edition IFLOG 2019. doi: 10.14807/ijmp.v11i5.1290.
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*. 14(3) 207–222.
- Van Fan, Y., Chin, H. H., Klemeš, J. J., Varbanov, P. S., & Liu, X. (2019). Optimisation and Process Design Tools for Cleaner Production. *Journal of Cleaner Production*, 119181. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119181.
- Wang, D., & Zhang, Y. (2020). Implications for sustainability in supply chain management and the circular economy using machine learning model. *Information Systems and e-Business Management*.
- Wang, N., Ren, S., Liu, Y., Yang, M., Wang, J., & Huisinsh, D. (2020). An active preventive maintenance approach of complex equipment based on a novel product-service system operation mode. *Journal of Cleaner Production*, 123365. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123365.
- Yadav, G., Luthra, S., Huisinsh, D., Mangla, S. K., Narkhede, B. E., & Liu, Y. (2019). Development of a lean manufacturing framework to enhance its adoption within manufacturing companies in developing economies.
- Yadav, G., Luthra, S., Jakhar, S., Mangla, S. K., & Rai, D. P. (2020). A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry 4.0 and circular economy: An automotive case. *Journal of Cleaner Production*, 120112. doi:10.1016/j.jclepro.2020.120112.
- Zhang, A., Venkatesh, V. G., Liu, Y., Wan, M., Qu, T., & Huisinsh, D. (2019). Barriers to smart waste management for a circular economy in China. *Journal of Cleaner Production*, 118198.
- Zhou, X., Song, M., & Cui, L. (2020). Driving force for China's economic development under Industry 4.0 and circular economy: Technological innovation or structural change? *Journal of Cleaner Production*, 122680. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122680.