Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul/Ânima
Programa de Pós-Graduação em Administração

Tiago Hennemann Hilario da Silva

As tecnologias da Indústria 4.0 como motivadores para a Economia Circular por meio do engajamento dos stakeholders em foodtechs brasileiras

Palhoça, SC
2023

Tiago Hennemann Hilario da Silva

As tecnologias da Indústria 4.0 como motivadores para a Economia Circular por meio do engajamento dos stakeholders em foodtechs brasileiras

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Administração da Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul – como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Administração.

Orientadora: Profª. Dra. Simone Sehnem

Palhoça – SC

2023

Tiago Hennemann Hilario da Silva

As tecnologias da Indústria 4.0 como motivadores para a Economia Circular por meio do engajamento dos stakeholders em foodtechs brasileiras

Tese apresentada ao curso de Doutorado em Administração da Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul – como requisito à obtenção do título de Doutor em Administração.

Aprovado em: 31/07/2023.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br SIMONE SEHNEM
Data: 11/08/2023 09:30:46-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profª. Dra. Simone Sehnem – Orientadora
Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul

Documento assinado digitalmente
gov.br CLARISSA CARNEIRO MUSSI
Data: 23/08/2023 19:25:16-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profª. Dra. Clarissa Carneiro Mussi
Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul

Documento assinado digitalmente
gov.br GISELE MAZON
Data: 16/08/2023 09:14:10-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profª. Dra. Gisele Mazon
Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul

Documento assinado digitalmente
gov.br CATARINA BARBOSA CARETA
Data: 14/08/2023 16:33:33-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profª. Dra. Catarina Barbosa Careta
Universidade de São Paulo - USP

Documento assinado digitalmente
gov.br MACIEL MANOEL DE QUEIROZ
Data: 11/08/2023 15:31:55-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profº. Dr. Maciel Manoel de Queiroz
Fundação Getúlio Vargas - FGV

S58 Silva, Tiago Hennemann Hilario da, 1980-
As tecnologias da Indústria 4.0 como motivadores para a Economia Circular por meio do engajamento dos stakeholders em foodtechs brasileiras / Tiago Hennemann Hilario da Silva. – 2023.
191 f. : il. color. ; 30 cm

Tese (Doutorado) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Pós-graduação em Administração.
Orientação: Profa. Dra. Simone Sehnem

1. Economia Circular. 2. Indústria 4.0. 3. Engajamento de Stakeholders. I. Sehnem, Simone. II. Universidade do Sul de Santa Catarina. III. Título.

CDD (21. ed.) 658.4

Dedico esta Tese à minha esposa Andrieli, nossos filhos Maria Luiza e Pedro Antônio e aos meus pais, Rejane e Virnei.

Agradecimentos

A conclusão desta Tese representa para mim muito mais do que uma etapa cumprida: é a finalização de um caminho acadêmico trilhado com intenso trabalho, esforço e dedicação. Conciliei essa trajetória com minhas atividades profissionais, que começaram como estagiário em organização privada e culminaram, atualmente, em ser proprietário da minha própria empresa de consultoria e assessoria na área de Supply Chain Management. A integração entre os conhecimentos teóricos e empíricos foi sempre essencial para este percurso. A grande descoberta, que ratifica o que já tinha observado no meu mestrado, é que nunca estive sozinho. Contei com o apoio de pessoas essenciais durante todo o processo.

Primeiramente, agradeço à minha família: minha querida esposa Andrieli, sempre presente, paciente, vigilante e atenta aos nossos filhos. Escrever uma Tese e me tornar Doutor em Administração se simplificou com o suporte dela. Aos nossos filhos, Maria Luiza e Pedro Antônio, que, com seis e sete anos respectivamente, souberam compreender a natureza do meu trabalho e minha ausência. Ao meu pai, Virnei, pelo constante apoio e, em especial, à minha mãe, Rejane, que sempre me auxiliou incondicionalmente, nunca demonstrando cansaço ou objeção, mesmo nos seus setenta anos. Eles são minha inspiração.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Administração (PPGA) da Unisul: Professores Doutores Nei, Jacir, Baltazar, Ivone e, em destaque, às Professoras Doutoras Clarissa e Gisele, que me guiaram no Seminário de Tese, qualificação e defesa. Sou grato à Professora Doutora Catarina e ao Professor Doutor Maciel pelas valiosas contribuições. Suas sugestões enriqueceram este estudo. Um agradecimento especial à minha orientadora, Professora Doutora Simone Sehnem: uma pesquisadora renomada, orientadora rigorosa, mentora nos momentos críticos e amiga inestimável.

Estendo meus agradecimentos aos colegas de curso, destacando o amigo Sibeli e Carlos pelas colaborações e trocas de experiência. Sou grato ao pessoal da Secretaria do Curso (Raquel, Weligton e Laisa) pelo suporte e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro neste doutorado.

Agradeço aos entrevistados que dedicaram horas valiosas para participar desta pesquisa acadêmica. Nomeio os principais contribuidores: Luciana, Joana, Sara, Gilberto, Larissa, Edgar, Danilo e Léo. Um agradecimento especial à Júlia Débes e à Clarissa Taguchi por seus insights profissionais.

Por fim, agradeço a Deus, que proporcionou saúde, nosso bem mais precioso, a mim e a todos ao meu redor.

O que o trouxe até aqui não será o que o levará adiante.

Marshall Goldsmith

Resumo

Esta Tese investiga como as tecnologias da Indústria 4.0 podem impulsionar a Economia Circular por meio do engajamento dos stakeholders em foodtechs brasileiras. A pesquisa justifica-se pela necessidade de preencher lacunas de pesquisa nessa área e explorar as interseções entre a Indústria 4.0 e a Economia Circular. A estrutura da Tese é composta por cinco artigos, incluindo três artigos principais e dois estudos de apoio. O objetivo geral da Tese é analisar como as tecnologias da Indústria 4.0 atuam como motivadores para impulsionar a Economia Circular por meio do engajamento dos stakeholders em foodtechs brasileiras. Foi utilizado como método principal da Tese os estudos de casos múltiplos. Os resultados demostram que as tecnologias da Indústria 4.0 desempenham um papel importante para a motivação para economia circular. Essas tecnologias permitem a otimização de processos, redução de desperdícios, melhoria na rastreabilidade e colaboração entre os stakeholders. Pode-se destacar como principais afirmações para a Tese: (i) a automação otimiza os processos de extração e filtragem, reduzindo desperdícios; (ii) o Big Data possibilita a análise de dados para identificar oportunidades de otimização e redução de desperdícios; (iii) a IoT controla e otimiza os parâmetros de produção, garantindo a qualidade dos produtos; (iv) o Blockchain facilita a gestão eficiente dos resíduos sólidos, transformando-os em ativos físicos para novas cadeias de produção; (v) a computação em nuvem promove a rastreabilidade dos produtos e (vi) a Inteligência Artificial permite embalagens inteligentes e sustentáveis. Os resultados também destacam a importância do engajamento dos stakeholders, como fornecedores, clientes, funcionários e comunidades, para impulsionar a transição para a Economia Circular. O envolvimento destes stakeholders permite a implementação de práticas circulares, como o uso de embalagens sustentáveis e a reciclagem de resíduos, além da adoção de processos mais eficientes. A principal conclusão da Tese confirma que as tecnologias da Indústria 4.0 são motivadores essenciais para a Economia Circular nas foodtechs brasileiras. As contribuições da pesquisa são diversas. Em termos práticos, destaca-se a importância de atender às necessidades das pequenas e médias empresas, mapear as tecnologias da Indústria 4.0 adotadas pelas foodtechs e harmonizar os pilares ambiental, econômico e social da sustentabilidade. Em termos gerenciais, enfatiza-se a relevância da Economia Circular para o sucesso organizacional e a necessidade de uma abordagem integrada entre as tecnologias da Indústria 4.0 e a Economia Circular. Em termos sociais, ressalta-se a viabilidade das tecnologias da Indústria 4.0 para impulsionar a Economia Circular, criando empregos e melhorando a qualidade de vida das comunidades. Em termos teóricos, a pesquisa contribui para a interseção emergente entre a Economia Circular e a Indústria 4.0, aplicando a Teoria dos Stakeholders nesse contexto.

Palavras Chave: Economia Circular. Indústria 4.0. Engajamento de Stakeholders.

Abstract

This thesis investigates how Industry 4.0 technologies can drive the Circular Economy through stakeholder engagement in Brazilian foodtechs. The research is justified by the need to fill research gaps in this area and explore the intersections between Industry 4.0 and the Circular Economy. The thesis structure consists of five articles, including three main articles and two supporting studies. The overall objective of the thesis is to analyze how Industry 4.0 technologies act as drivers to promote the Circular Economy through stakeholder engagement in Brazilian foodtechs. Multiple case studies were used as the main method in the thesis. The results demonstrate that Industry 4.0 technologies play an important role in motivating the circular economy. These technologies enable process optimization, waste reduction, improved traceability, and collaboration among stakeholders. The main findings of the thesis can be highlighted as follows: (i) automation optimizes extraction and filtration processes, reducing waste; (ii) Big Data enables data analysis to identify optimization opportunities and waste reduction; (iii) IoT controls and optimizes production parameters, ensuring product quality; (iv) Blockchain facilitates efficient management of solid waste, transforming it into physical assets for new production chains; (v) cloud computing promotes product traceability; and (vi) Artificial Intelligence enables intelligent and sustainable packaging. The results also emphasize the importance of stakeholder engagement, including suppliers, customers, employees, and communities, in driving the transition to the Circular Economy. The involvement of these stakeholders enables the implementation of circular practices, such as the use of sustainable packaging, waste recycling, and the adoption of more efficient processes. The main conclusion of the thesis confirms that Industry 4.0 technologies are essential drivers for the Circular Economy in Brazilian foodtechs. The research contributions are diverse. In practical terms, the importance of addressing the needs of small and medium-sized enterprises, mapping Industry 4.0 technologies adopted by foodtechs, and harmonizing the environmental, economic, and social pillars of sustainability are highlighted. In managerial terms, the relevance of the Circular Economy for organizational success and the need for an integrated approach between Industry 4.0 technologies and the Circular Economy are emphasized. In social terms, the feasibility of Industry 4.0 technologies to drive the Circular Economy, create jobs, and improve the quality of life in communities is emphasized. In theoretical terms, the research contributes to the emerging intersection between the Circular Economy and Industry 4.0, applying Stakeholder Theory in this context.

Keywords: Circular Economy, Industry 4.0, Stakeholder Engagement.

Lista de Tabelas

2.1	Percurso metodológico do estudo.....	33
2.2	Perfil dos Journals analisados.....	34
3.1	Tecnologias da Indústria 4.0 e práticas da Economia Circular mapeadas.....	66
4.1	Framework ReSOLVE adaptado pelos autores de Ellen MacArthur Foundation (2015).....	80
4.2	Principais tecnologias da I4.0 e sua relação com a EC.....	81
4.3	Identificação de ações da estrutura ReSOLVE nas foodtechs estudadas.....	87
4.4	Identificação das possíveis tecnologias da I4.0 nas Foodtechs estudadas, para apoio a EC.....	88
4.5	Identificação dos principais stakeholders nas foodtechs.....	88
4.6	Formação e gênero dos entrevistados.....	94
5.1	Práticas da Cadeia de Suprimentos Circular, com base na tipologia de Khan et al. (2022)	108
5.2	Categorias das Tecnologias da Indústria 4.0, com base na tipologia de Schwab (2016)....	109
5.3	Descrição dos dados da pesquisa.....	113
5.4	Categorias e subcategorias de análise.....	114
5.5	Identificação das práticas de cadeia de suprimentos circulares.....	115
5.6	Tecnologias da I4.0 identificadas.....	117
5.7	Interfaces entre CSC, I4.0 atraves dos Stakeholders primários.....	119
6.1	Tecnologias da Indústria 4.0 e a Economia Circular.....	136
6.2	Apresentação das foodtechs objeto do estudo.....	142
6.3	Principais Práticas de Economia Circular e Stakeholders Envolvidos.....	144
6.4	Tecnologias da Indústria 4.0 e Relação com os Stakeholders.....	146
6.5	Tecnologias da Indústria 4.0 para maximização da EC através do engajamento dos Stakeholders.....	153
7.1	Principais achados empíricos dos cinco artigos.....	177

Lista de Figuras

1	Linha de tempo de produção dos artigos da Tese e característica do artigo.....	24
2	Descrição da sequência de artigos para contribuições para a Tese.....	26
3.1	Fluxograma do estudo.....	62
3.2	Periódicos onde foram publicados os estudos analisados.....	63
4.1	Framework teórico do estudo.....	84
5.1	Framework teórico do estudo.....	111
6.1	Classificação das foodtechs.....	139
6.2	Principais práticas de Economia Circular citadas pelas foodtechs.....	144
6.3	Principais tecnologias da Indústria 4.0 citadas pelas foodtechs.....	146
7.1	Função principal de cada artigo para levantamento dos resultados da Tese.....	171
7.2	Principais resultados e conclusões dos artigos para a Tese.....	175

Lista de Siglas

3D - Três dimensões

CNPJ - Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas

COVID19 - Corona Virus Disease 19

DL - Deep Learning

EC - Economia Circular

EoL - Previsibilidade do fim de ciclo de vida

ERP - Enterprise Resource Planning

I4.0 - Indústria 4.0

IA - Inteligência Artificial

IoT - Internet de Coisas

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONGs - Organizações Não Governamentais

PANC - Planta Alimentícia Não Convencional

PME - Pequenas e médias empresas

RFID - Identificação por Rádio Frequência

RSL - Revisão Sistemática de Literatura

URL - Localizador Uniforme de Recursos

Sumário

1 **Introdução**..... 16
1.1 **Contextualização do tema de pesquisa**..... 16
1.1.1 Economia Circular..... 17
1.1.2 As tecnologias da Indústria 4.0..... 18
1.1.3 Teoria dos Stakeholders..... 19
1.1.4 As foodtechs..... 20
1.2 **Justificativas, lacunas, pergunta de pesquisa e objetivo da Tese**..... 20
1.3 **Estrutura da Tese**..... 23
2 **Artigo 1 - Economia Circular e Indústria 4.0: Sinergias e desafios**……..... 28
2.1 **Introdução**..... 29
2.2 **A Economia Circular e a Indústria 4.0**..... 30
2.2.1 Economia Circular..... 30
2.2.2 Indústria 4.0..... 31
2.3 **Procedimentos Metodológicos**..... 32
2.4 **Apresentação e análise dos resultados**..... 34
2.4.1 Perfil dos artigos analisados..... 34
2.4.2 Interfaces existentes entre Economia Circular e Indústria 4.0..... 35
2.4.3 Avanços para o campo da Economia Circular suportadas pela Indústria 4.0..... 36
2.4.4 Análise de conteúdo com base nos objetivos, limitações de pesquisa e recomendações para futuros estudos..... 38
2.4.5 Proposições teóricas para estudos futuros..... 41
2.5 **Considerações Finais**..... 43
3 **Artigo 2 - Indústria 4.0 e Economia Circular: Oportunidades para integração em foodtechs**..... 52
3.1 **Introdução**..... 53
3.2 **A Economia Circular, a Indústria 4.0 e os avanços da relação entre esses dois campos**..... 54
3.2.1 A Economia Circular..... 54
3.2.2 A Indústria 4.0..... 55
3.2.3 Avanços para o campo da Economia Circular suportadas pela Indústria 4.0..... 56
3.3 **Metodologia**..... 59
3.4 **Apresentação e análise dos dados**..... 62
3.5 **Considerações Finais**..... 69

4 **Artigo 3 - As tecnologias da Indústria 4.0 como motivadores para a Economia Circular em foodtechs: uma análise na perspectiva dos stakeholders** 77
4.1 **Introdução** 78
4.2 **Referencial teórico** 79
4.2.1 Teoria dos stakeholders 83
4.3 **Procedimentos Metodológicos** 85
4.3.1 Objeto de pesquisa: As foodtechs 86
4.4 **Apresentação e análise dos resultados** 87
4.4.1 Apresentação dos resultados 87
4.4.2 Discussão dos resultados 89
4.4.3 Implicações gerenciais 93
4.4.4 Lições aprendidas 93
4.5 **Considerações Finais** 95
5 **Artigo 4 - Cadeias de Suprimentos Circulares e Indústria 4.0: Uma Análise das Interfaces em Foodtechs Brasileiras** 105
5.1 **Introdução** 106
5.2 **Fundamentação teórica** 107
5.2.1 Cadeia de Suprimentos circulares 107
5.2.2 Indústria 4.0 109
5.2.3 Teoria dos Stakeholders 109
5.3 **Procedimentos Metodológicos** 112
5.4 **Apresentação e Análise dos Resultados** 114
5.4.1 Apresentação dos resultados 114
5.4.2 Análise dos resultados 116
5.4.3 Lições aprendidas 120
5.5 **Considerações Finais** 121
6 **Artigo 5 - As Tecnologias da Indústria 4.0 na potencialização da Economia Circular via engajamento dos stakeholders em foodtechs brasileiras** 130
6.1 **Introdução** 131
6.2 **Referencial teórico** 132
6.2.1 Economia Circular 132
6.2.2 As tecnologias da Indústria 4.0 135
6.2.3 As tecnologias da Industria 4.0 potencializando a Economia Circular 136
6.2.4 As tecnologias da Indústria 4.0 na Economia Circular através do engajamento stakeholders 137
6.3 **Método de pesquisa** 139

6.3.1 Seleção de amostra e coleta dos dados..... 140
6.3.2 Análise de dados..... 140
6.4 **Apresentação dos resultados**..... 142
6.5 **Discussão dos resultados**..... 148
6.5.1 O engajamento dos stakeholders para adoção das tecnologias da Industria 4.0 para impulsionar a Economia Circular..... 150
6.5.2 Relação entre a Economia Circular e as tecnologias da Indústria 4.0 nas foodtechs pesquisadas..... 150
6.5.3 As tecnologias da I4.0 atuando como motivadores para a Economia Circular via engajamento dos stakeholders..... 152
6.6 **Considerações Finais**..... 154
7 **Considerações finais**..... 171
7.1 **Resposta à pergunta da Tese**..... 171
7.1.1 Principais resultados dos artigos para o objetivo da Tese..... 171
7.1.2 As tecnologias da Industria 4.0 como motivadores para a Economia Circular por meio do engajamento dos stakeholders..... 176
7.1.3 A Tese..... 180
7.2 **Contribuições práticas**..... 181
7.3 **Contribuições gerenciais**..... 181
7.4 **Contribuições sociais**..... 181
7.5 **Contribuições teóricas**..... 183
7.6 **Limitações**..... 183
7.7 **Recomendações para futuros estudos**..... 184

1 Introdução

O planeta terra se encontra em momento crítico para o desenvolvimento sustentável, com bilhões de cidadãos vivendo na pobreza. Ameaças globais de saúde e desastres naturais são cada vez mais frequentes. A mudança climática é um dos maiores desafios da humanidade, e seus efeitos negativos aumentam a capacidade de os países alcançarem o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015). Somado a isso, em apenas 50 anos, o uso de materiais no planeta quase quadruplicou, superando o crescimento populacional. Os níveis crescentes de resíduos estão seguindo a rápida aceleração do consumo, visto que mais de 90% do todos os materiais extraídos e usados são desperdiçados (CGR, 2022). Neste prisma, visto que as organizações em nível mundial estão enfrentando uma escassez de recursos devido a práticas insustentáveis de fabricação e utilização de recursos não renováveis, elas, agora, agem objetivando a utilização de iniciativas sustentáveis para diminuir esta escassez (Bag et al., 2020).

Visando apoiar esses novos desafios, a Economia Circular (EC), que tem como objetivo principal o mantenimento de produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor em todo o ciclo de vida, distinguindo entre ciclos técnicos e biológicos (Ellen MacArthur Foundation, 2015), busca encontrar, na Indústria 4.0 (I4.0), definida como um conjunto de tecnologias, dispositivos e processos com capacidade de operação de forma integrada (Beltrami et al., 2021) uma base de apoio a sua devida utilização nas organizações (Sehnem et al, 2021).

Posto isso, neste capítulo apresenta-se, a seguir, a contextualização dos temas de pesquisa onde esta Tese está inserida, efetuando-se uma descrição sucinta sobre os campos teóricos da Economia Circular e Indústria 4.0, como também a apresentação da teoria que será verificado o engajamento das partes interessadas, a Teoria dos Stakeholders. Será apresentado também a definição sobre o objeto deste estudo, as foodtechs. Na sequência, são descritos as justificativas, lacunas, pergunta de pesquisa e objetivo da Tese. Por fim, é apresentada a estruturação deste estudo.

1.1 Contextualização do tema de pesquisa

Neste subcapítulo apresenta-se uma breve descrição sobre os campos teóricos desta Tese, iniciando pela Economia Circular, seguida das tecnologias da Indústria 4.0 e da Teoria dos Stakeholders, e, por fim, do objeto de pesquisa deste estudo, as foodtechs.

1.1.1 Economia Circular

A transição para uma Economia Circular é um dos principais objetivos das instituições governamentais em todo o planeta, necessária para se atingir o desenvolvimento sustentável (Kristoffersen et al., 2020). Esse campo teórico ganhou impulso entre organizações, legisladores e pesquisadores em virtude de seu potencial, no sentido de contribuir com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Lechner & Reimann, 2019); A Economia Circular se apresenta como um sistema econômico que busca o equilíbrio entre a proteção ambiental e o crescimento econômico, ganhando, assim, popularidade como uma ferramenta para o desenvolvimento sustentável (Zhou et al., 2020). Contudo, ela vai além dessa contribuição, oferecendo um paradigma alternativo para realizar o desenvolvimento sustentável, e buscando atingir uma economia de ciclo fechado, enquanto, por sua vez, o desenvolvimento sustentável tem uma meta aberta (Gue et al., 2021).

Este modelo surgiu como uma alternativa ao que vinha sendo praticado em décadas anteriores do "pegue, faça e descarte", oferecendo, assim, novas oportunidades para reviver a economia linear, buscando equilibrar a oferta e a procura na gestão dos recursos (Rajput & Singh, 2020; Chauhan et al., 2021). A EC pode também ser definida como a própria economia desenvolvendo padrões de sustentabilidade (Lu et al, 2020). Neste novo modelo, os recursos permanecem no sistema por um longo tempo, a fim de fornecer o valor máximo do seu produto até o final do seu ciclo de vida, para que os componentes possam ser recuperados (Bag et al., 2021).

Sendo assim, a Economia Circular, ainda, beneficia a economia, o meio ambiente e a sociedade, alcançando equilíbrio e harmonia entre esses três fatores, ou seja, ela constitui um sistema de produção e consumo que visa manter produtos, componentes, materiais e energia em circulação, adicionando, recriando e mantendo seu valor por um longo período (Ma et al., 2020). A Economia Circular tem como objetivo aumentar a eficiência no uso de recursos, com foco especial em resíduos urbanos e industriais, a fim de alcançar um melhor equilíbrio e harmonia entre economia, meio ambiente e sociedade, promovendo a adoção de padrões de produção de ciclo fechado (Ghisellini et al., 2016).

Ao adotar práticas circulares, as organizações têm a oportunidade de criar novos modelos de negócio e gerar valor por meio da inovação e da colaboração entre os diversos atores da cadeia produtiva (Sehnem et al., 2020). Esse sistema considera não apenas os ciclos técnicos, em que os produtos são reutilizados e reciclados, mas também os ciclos biológicos, em que os resíduos orgânicos são reintegrados na natureza como nutrientes (Kirchherr et al., 2017). Essa abordagem restaurativa busca manter bens, componentes e materiais em seu

máximo nível de utilização, promovendo uma mudança de paradigma na forma como os recursos são utilizados (Ellen MacArthur Foundation, 2015)

Com isto, para esta Tese foi utilizado o conceito de Economia Circular como sendo um modelo econômico que busca otimizar o uso de recursos via ciclos técnicos e biológicos, promovendo a sustentabilidade ambiental, econômica e social ao maximizar a eficiência dos recursos ao longo de todo ciclo de vida dos produtos.

1.1.2 As tecnologias da Indústria 4.0

Schwab (2016) destaca que, fundamentadas principalmente no computador, softwares e redes, as tecnologias digitais da Indústria 4.0, conceito cunhado na feira de Hannover em 2011, podem revolucionar as cadeias globais de valor. As novas tecnologias permitem fábricas mais inteligentes, considerando que a quarta revolução industrial cria uma realidade, pela qual os sistemas físicos e virtuais de fabricação tendem a cooperar de forma global e flexível, podendo, assim, criar modelos de negócios (Yadav et al, 2020). A Indústria 4.0 também pode ser definida como o conjunto de tecnologias, dispositivos e processos integrados ao longo do processo produtivo e da cadeia de abastecimento, permitindo uma produção autônoma, integrada e com mínima intervenção humana (Beltrami et al., 2021).

A Indústria 4.0, por meio da combinação de tecnologias modernas, emergiu como uma abordagem altamente disruptiva para as organizações, sendo que este conceito transformador trouxe mudanças sem precedentes nas práticas organizacionais, nos processos de negócios, no desenvolvimento de produtos e nas atividades dos trabalhadores (Queiroz et al., 2022). Dentre este conjunto vasto de tecnologias da I4.0, destacam-se os sistemas ciber-físicos, sensoriamento, robôs autônomos, Internet das Coisas, Blockchain, computação na nuvem, manufatura aditiva, inteligência artificial e a o big data (Culot et al., 2020; Bag et al., 2021; Rajput & Sing, 2020). Estas tecnologias da I4.0 estão transformando a gestão de operações em áreas, como manufatura industrial, gestão da cadeia de suprimentos, produção enxuta e gestão de qualidade, sendo que essas tecnologias têm potencial para usar dados históricos, capazes de melhorar a qualidade de produtos (Kristoffersen et al., 2020).

Além disso, as tecnologias da Indústria 4.0 podem ser usadas para integrar todas as funções-chave dos processos produtivos, a fim de compartilhar dados, informações e conhecimento na cadeia de suprimento, como também podem ser aplicadas para automatizar atividades de operações críticas. No entanto, como principal impacto das tecnologias da Indústria 4.0, registra-se sua capacidade de produzir e acessar informações em tempo real, o que permite maior visibilidade e mitiga riscos nessa cadeia (Bag & Pretorius, 2020).

Com isto, o termo Indústria 4.0 e suas tecnologias emergentes ainda são recentes na academia, com definições abrangentes, que podem várias em diferentes mercados e atuações e também em constante atualizações. Para esta Tese será padronizado o termo Tecnologias da Indústria 4.0, o qual pode ser definido como conjunto de avanços tecnológicos que promovem uma produção autônoma, integrada e com menor intervenção humana, revolucionando a forma como as organizações operam e se adaptam ao cenário atual. Contudo, é importante destacar que esta terminogia ainda carece de maiores estudos, como já apresentado anteriormente.

1.1.3 Teoria dos Stakeholders

Neste estudo, portanto, para dar suporte a esses dois campos teóricos e em desenvolvimento e verificar o engajamento das partes interessadas, será utilizada a Teoria dos Stakeholders, bastante popular, atualmente, tanto para acadêmicos, como para executivos das organizações (Mitchell et al., 1997). Stakeholders são qualquer grupo ou indivíduo, que podem afetar ou serem afetados pelo alcance dos propósitos de uma organização (Freeman, 1984). Possuem ou reivindicam propriedade, direitos ou interesses em uma corporação e nas suas atividades, passadas, presentes ou futuras (Clarkson,1995).

Essa teoria surgiu da necessidade de se entender e resolver três problemas: Como o valor é criado e negociado? Como conectar ética e capitalismo? Como os gerentes devem pensar a cerca de gestão, objetivando que os dois primeiros tópicos sejam resolvidos. Se alicerça na premissa de que uma empresa não deve apenas buscar maximizar o lucro, mas também considerar os interesses de todas as partes interessadas (Freeman et al, 2010).

A Teoria dos Stakeholders descreve a utilização de unidades para analisar as relações entre uma organização e os grupos ou indivíduos envolvidos, buscando entender como clientes, fornecedores, acionais, bancos, comunidade, gestores, entre outros, podem interagir para criar e comercializar valor. Nesse sentido, é função dos gestores administrar essas interações para criar o máximo de valor possível a todas as partes interessadas e gerenciar a distribuição desse valor (Freeman et al., 2010).

Na literatura, são encontrados diversas classificações de Stakeholders. Primeiro, destacam-se os voluntários, como aqueles que assumem algum tipo de risco por investir algum tipo de capital, humano ou financeiro; e os involuntários, os quais são colocados como resultados das atividades de uma organização, mas sem o fator de risco (Clarkson, 1994). Outra classificação é de stakeholders primários, sem os quais uma organização não funciona, e são representados pelos acionistas, investidores, funcionários, clientes, fornecedores, governo e

comunidade; e os secundários, dos quais a corporação não depende, diretamente, para sua sobrevivência, que são os bancos, a mídia ou até mesmo grupos terroristas (Clarkson,1995).

1.1.4 As foodtechs

As startups, organizações com potencial de rápido crescimento e capacidade de se tornarem empresas estrategicamente relevantes em seu segmento de atuação. São organizações com alta adaptabilidade e agilidade para se reposicionarem no mercado. No que tange ao mercado brasileiro, essas organizações têm alavancado notoriedade, incentivadas pelos vários programas e movimentos nacionais que estimulam o seu nascimento, como, por exemplo, a criação do marco legal das startups no Brasil, as incubadoras e a criação de editais de fomento (Sehnem et al., 2021).Nos últimos anos, novas startups têm se dedicado ao propósito de promover a transformação de modelos de negócios, visando maximizar o reaproveitamento dos recursos, tendo a utilização da natureza como fonte de inspiração, em uma economia na qual os recursos não renováveis são apenas um repositor do sistema (Exame, 2022).

Conforme prevê o Marco Legal das Startups, através da Lei Complementar n. 182/2021, as startups são empresas e sociedades cooperativas, atuantes na inovação aplicada a produtos, serviços ou modelos de negócios, e que tenham tido receita bruta de até 16 milhões de reais anuais, com até dez anos de inscrição no Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas - CNPJ. Esse marco visa criar um regime diferenciado para permitir que as startups lancem produtos com menos burocracia (Agência Senado, 2022).

Dentro deste grupo de startups, as foodtechs são as que utilizam a tecnologia para aprimorar a cadeia de produção como um todo, seja na produção, distribuição, fornecimento ou pós-consumo dos alimentos, podendo também ser definidas como as empresas que permitem às pessoas consumirem alimentos mais saudáveis, acessíveis, frescos, nutritivos e amigáveis para o meio ambiente. Neste setor, mais de 8.400 empregos foram criados e os investimentos e chegaram em cerca 4,66 bilhões de reais, entre os anos de 2021 e 2022 (Liga Ventures Insights, 2023).

Tendo a base teórica sucintamente descrita, juntamente, com a apresentação do objeto de pesquisa da Tese, no subcapítulo a seguir, descrevem-se a justificativa, a pergunta de pesquisa e os objetivos da Tese.

1.2 Justificativas, lacunas, pergunta de pesquisa e objetivo da Tese

Esta Tese se justifica com base em estudos pregressos sobre os campos teóricos citados, visando preencher lacunas de pesquisa ainda não abordadas por estudo, que busque entender

como as tecnologias da Indústria 4.0 podem atuar como motivadores para a Economia Circular, por meio do engajamento dos Stakeholders, em foodtechs brasileiras. Desse modo, inicialmente, verificou-se, como uma lacuna, a necessidade de fortalecer, através de pesquisa empírica, por meio de estudos de caso, a interação entre esses dois campos de estudo (Zhou et al., 2020), com a possibilidade de investigar a sua relação de causa e efeito entre eles, objetivando melhorar a validade e confiabilidade dos instrumentos de coleta de dados (Fatimah et al., 2020).

Outra lacuna encontrada é que muitos estudos analisam os dois campos teóricos: a EC e as tecnologias da I4.0, individualmente, não em seu conjunto. Por exemplo, diversos autores sugerem estudos mais aprofundados de utilização das tecnologias da Indústria 4.0 na Economia Circular, tal como o uso do Blockchain, atuando na observação do ciclo de vida do produto (Ma et al., 2020) e na cadeia de suprimentos (Kouhizadeh et al., 2020); ou a aprendizagem de máquina (Wang & Zhang, 2020) e a simulação no contexto da EC, verificando a influência do comportamento do cliente (Lieder et al., 2020); e, ainda a criação de um modelo teórico que incorpore o Big Data em aspectos para alavancagem da EC (Rajput & Singh, 2020).

Lu et al. (2020) recomendam o aprimoramento da utilização da Economia Circular, sob o prisma dos stakeholders (funcionários, comunidade, fornecedores, acionistas e clientes), sendo este um fator que carece de maior exploração, principalmente no que tange às pequenas e médias empresas. Ressalta-se que essa lacuna será explorada nesta Tese com maior profundidade, no objeto de estudo escolhido, as foodtech. Rosa et al., (2019) reverberam que ainda há falta de evidências empíricas sobre como os princípios da EC e I4.0 são aplicados, na prática, pelas empresas. Esse cenário exige uma melhor compreensão sobre como as tecnologias I4.0 podem apoiar, adequadamente, os stakeholders, permitindo e apoiando o envolvimento ativo de usuários externos durante todas as fases de um ciclo de vida circular.

Outro ponto a se investigar é a necessidade de se compreender o impacto potencial das tecnologias da I4.0 na EC (Rosa et al., 2019), assim como a necessidade de maior investigação e alinhamento entre pesquisadores e profissionais (Lu et al., 2020; Kristoffersen et al., 2020), além da lacuna encontrada quanto a necessidade de estudo de proposições teóricas relevantes sobre a EC e a I4.0, por meio de uma pesquisa em múltiplos setores industriais (Zhang et al., 2019), podendo ser investigada a maneira como incentivar a colaboração das organizações para promover as cadeias de suprimento circular, atualizando tecnologias habilitadoras, tais quais, a Internet das Coisas (IoT), Big Data e Blockchain (Farooque et al., 2019).

Autores como Del Giudice et al., (2021) sugerem que pesquisas futuras efetuem uma abordagem qualitativa, a fim de fornecer conhecimento aprofundado, objetivando evitar

contingências e aumentar a robustez das descobertas, sugerindo, ainda, que pesquisas adicionais podem determinar se os dois constructos adotados podem ser incorporados em novos avanços em estudos de cadeia de suprimentos da Economia Circular. Como já sugerido também em estudos pregressos, são diversas as possíveis contribuições das tecnologias da Indústria 4.0 para a transição da Economia Circular.

Esta Tese avança no objetivo de comprovar empiricamente, essas interseções. Como principais oportunidades, destacam-se: as redes neurais computacionais, (Akanbi et al., 2020); a automação (Rajput & Sing, 2020); o Big Data (Rajput & Sing, 2020; Bag & Pretorius, 2020); o Blockchain (Kouhizadeh et al., 2020; Ma et al., 2020); a aprendizagem profunda (*Deep Learning*) (Lieder et al., 2020; Akanbi et al., 2020); a integração de componentes onipresentes e inteligentes nas cadeias de suprimentos (Rajput & Sing, 2020); a Internet das Coisas – IoT - (*Internet of Things*) (Rosa et al., 2019; Bag et al., 2021; Rajput & Sing, 2020); o aprendizado de máquina (*Machine learning*) (Lieder et al., 2020); a manufatura aditiva (Impressão 3D) (Rosa et al., 2019; Tavares et al., 2020); os sistemas Fuzzy Dematel (Khan & Haleem, 2020; Kumar et al., 2020; Khandelwal & Barua, 2020); e a manufatura inteligente (Sharma, Jabbour & Jabbour, 2020).

A motivação para o desenvolvimento desta Tese inclui verificar a necessidade de engajamento dos diversos stakeholders para motivar a Economia Circular, por meio das tecnologias da I4.0 em foodtechs brasileiras. Outra motivação é a realidade atual de nosso planeta, onde, apesar de haver disponibilidade de alimentos para suprir toda a população (FAO, 2022), observam-se grandes assimetrias entre fome e desperdício de alimentos (Sehnem et al., 2020). E as foodtechs podem ser agentes importantes nesta possível mudança de cenário.

Quanto à originalidade deste estudo, busca-se apresentar como as tecnologias da Indústria 4.0 podem motivar a Economia Circular, com a integração da Teoria dos Stakeholders, tendo como objeto de estudo as foodtechs, em um país em desenvolvimento, o Brasil. Assim, consiste este um estudo inédito, com base nos achados referenciados anteriormente, sobre a capilaridade da utilização da economia circular, promovida a partir da utilização das tecnologias da Indústria 4.0. Nesse sentido, para fundamentar e organizar as análises dos dois campos teóricos, ainda embrionários na academia, esta análise utiliza a Teoria dos Stakeholders.

A contribuição teórica consiste na possibilidade de mapear as tecnologias da I4.0 e suas possíveis conexões, com a interação destes dois constructos emergentes (EC e I4.0), com uma teoria já fundamentada (Teoria dos Stakeholders) em startups de um setor da economia

brasileira. Além disso, vê-se a possibilidade de inter-relacionar as tecnologias da I4.0 e da EC através desta teoria.

Sobre a contribuição prática, destaca-se que este estudo pretende avançar no mapeamento das tecnologias da Indústria 4.0 adotadas por startups, que são empresas que nasceram há poucos anos, em sua maioria, em um setor da economia brasileira - foodtechs - para a perfeita transição para a EC. Outro ponto a se destacar é a possível promoção de apoio às organizações pesquisadas, na utilização dos conceitos da Indústria 4.0 e, principalmente, na promoção da Economia Circular, ainda tão carente de maior aplicação nas organizações.

Desse modo, esta Tese busca responder a seguinte pergunta de pesquisa: De que maneira as tecnologias da Indústria 4.0 atuam como motivadores para a Economia Circular, por meio do engajamento dos stakeholders nas foodtechs brasileiras? Assim, como objetivo geral, esta Tese visou analisar como as tecnologias da Indústria 4.0 atuam como motivadores para impulsionar a Economia Circular por meio do engajamento dos stakeholders em foodtechs brasileiras. Cabe destacar aqui que os objetivos específicos da Tese serão os objetivos de cada artugo que compõem esta Tese. Com isto, surge a Tese deste estudo: As tecnologias da Indústria 4.0 atuam como motivadores para a Economia Circular, por meio do engajamento dos stakeholders, em foodtechs brasileiras. Destaque é dado as tecnologias de automação, IoT, inteligência artificial, big data, computação na nuvem, blockchain, como habilitadoras de uma transição ágil, transparente, com potencial de ser rastreada e geradora de produtividade e eficiência nas foodtechs.

1.3 Estrutura da Tese

Nesta seção, apresenta-se a estruturação da Tese, a qual, além desta seção introdutória, será composta por outros cinco capítulos distintos, formados por cinco artigos, expostos detalhadamente nos próximos subcapítulos, seguidos, por fim, do capítulo das considerações finais deste estudo. Estes cinco artigos são divididos, em artigos principais (os apresentados em azul) e os estudos de apoio, os quais efetuam a junção e complementação dos estudos principais (apresentados em verde).

Outro ponto a destacar é que os dois primeiros artigos desta Tese tiveram o papel de promover o arcabouço teórico principal, promovendo assim para esta pesquisa um embasamento para o andamento dos demais artigos. Nestes dois primeiros estudos bases, o objeto de pesquisa (neste caso, no artigo 1) e a teoria basilar ainda estavam em processo de definição. A partir do terceiro artigo aspectos da Teoria dos Stakeholders são mais utilizados, como também a terminologia de “foodtechs” e também “Tecnologias da I4.0” (ao invés do

termo mais abrangente Industria 4.0). Na figura 1 é descrito a linha de tempo de produção dos artigos que compõem esta Tese e característica de cada estudo.

Figura 1 - Linha de tempo de produção dos artigos da Tese e característica do artigo

Para iniciar, foi desenvolvido o primeiro artigo, uma Revisão Sistemática de Literatura, sob o título "Economia Circular e Indústria 4.0: sinergias e desafios", utilizando o protocolo de Tranfield et al. (2003), sendo identificados 63 papers. Em suma, entendeu-se que a adoção de tecnologias da I4.0 na EC ainda carecem de mais pesquisas, sendo descritos, com isso, cinco novos caminhos e desafios entre a relação da EC e I4.0: a aplicação das tecnologias para a produção mais limpa; a utilização do Blockchain e Big Data na cadeia de suprimentos circulares; o levantamento dos impactos da manufatura aditiva na EC; a compreensão de como a I4.0 e a EC podem apoiar os Stakeholders no entendimento deste novo paradigma; e a compreensão dos fatores para implementação desses campos teóricos.

O segundo artigo, intitulado "Indústria 4.0 e Economia Circular: Oportunidades para Integração em Startups", trata-se de um estudo multimétodo. Na primeira etapa, foi realizada uma nova revisão sistemática de literatura, focada, agora, em RSL's, publicadas nas bases de dados Scopus e Web of Science, utilizando o protocolo de Hoon (2013); na segunda etapa, é feita a validação empírica desta RSL, com 45 foodtechs dos segmentos de cadeia agropecuária: *farm to table*, reaproveitamento e gestão de resíduos e descarte.

O artigo 3 "As Tecnologias da Indústria 4.0 como motivadores para a Economia Circular em foodtechs: uma análise na perspectiva dos Stakeholders" continuou a verificação empírica iniciada no segundo artigo, considerando o arcabouço teórico previamente construído e as lacunas identificadas. A pesquisa focou-se nas foodtechs, assim como o estudo anterior, visando analisar as tecnologias da Indústria 4.0 como catalisadores para a Economia Circular no setor, através da lente dos stakeholders mais relevantes. O estudo empregou uma abordagem exploratória qualitativa, utilizando estudos de casos múltiplos, em nove gestores de foodtechs. A contribuição principal deste estudo para a Tese como um todo foi a realização do estudo empírico para responder ao objetivo geral da Tese, com um foco mais aprofundado no papel dos stakeholders na promoção da Economia Circular através das tecnologias da Indústria 4.0.

O artigo 4, intitulado "Cadeias de Suprimentos Circulares e Indústria 4.0: Uma Análise das Interfaces em Foodtechs Brasileiras", buscou identificar as interfaces entre as tecnologias da Indústria 4.0 e as cadeias de suprimentos circulares em foodtechs, considerando os principais stakeholders do setor. A pesquisa foi feita com base em um estudo de casos múltiplos de oito foodtechs brasileiras, por meio de entrevistas não estruturadas e análise de conteúdo. Foram identificadas 16 práticas de cadeia de suprimentos circulares e três diferentes tecnologias da Indústria 4.0 que já estão em prática nas foodtechs. O estudo também verificou a aderência às questões levantadas pela teoria dos stakeholders, fornecendo um arcabouço empírico para entender a interação entre a Indústria 4.0 e a Economia Circular no contexto das foodtechs.

O artigo 5, com o título "As Tecnologias da Indústria 4.0 na potencialização da Economia Circular via engajamento dos stakeholders em foodtechs brasileiras", teve como objetivo principal determinar como as tecnologias da Indústria 4.0 estão sendo adotadas para amplificar a Economia Circular em foodtechs no Brasil, através do envolvimento dos stakeholders. Este estudo exploratório foi conduzido em oito foodtechs diferentes, utilizando questionários e entrevistas estruturadas como metodologia. Este estudo é fundamental para a Tese, pois finaliza a pesquisa ao fornecer uma análise detalhada sobre as foodtechs que já estão implementando a Economia Circular e fazendo uso das tecnologias da Indústria 4.0, com um foco especial na análise do engajamento dos stakeholders. As foodtechs selecionadas para este estudo se enquadram em quatro categorias diferentes do mercado: fornecedores de insumos, produtores rurais, Indústria de transformação ou atacado e varejo.

Com isto, na figura 2 é apresentado a composição dos cinco artigos que compõem a Tese. Como descrito anteriormente, é identificado em azul os artigos principais e em verde os artigos que dão suporte a estes. Nesta figura é descrito a pergunta, o objetivo, o método as a contribuição de cada um destes estudos para a Tese, como também os seminários e periódicos que estes estudos foram apresentados, publicados, aguardando aprovações ou estão com submissão em andamento.

Figura 2 - Descrição da sequência de artigos para contribuições para a Tese

Artigo 1: Economia Circular e Indústria 4.0: Sinergias e desafios

Pergunta: Com base em estudos anteriores, quais são os novos caminhos e desafios observados entre a relação da EC e I4.0?

Objetivo: Analisar estudos que abordem a interface entre Economia Circular e Indústria 4.0.

Método: Revisão Sistemática de Literatura.

Contribuição para a Tese: Prover o conhecimento sobre os temas de pesquisa, revisar o referencial teórico sobre EC e tecnologias da I4.0 e identificar as lacunas de pesquisa para avanço do estudo.

Publicações:
Seminário:
XXIV – SemeAd - 2021 - apresentado
Periódico:
REGE - Revista de Gestão USP - A2 - 2022 - publicado

Artigo 2: A Indústria 4.0 e Economia Circular: Oportunidades para Integração em Startups

Pergunta: Como as organizações estão adotando e implementando as tecnologias relacionadas a Indústria 4.0 e a integração com a Economia Circular para minimizar os efeitos da escassez de recursos em situações de emergência?
Objetivo: Compreender esse fenômeno social, olhamos para a literatura pregressa existente, para identificar o que já foi desvendado sobre estes temas de estudos, sobre o prisma de escassez de recursos.
Método: Multimétodo (RSL e validação empírica)
Contribuição para a Tese: Complementar o arcabouço teórico, iniciar o estudo empírico, definir com clareza os constructos de pesquisa: EC, tecnologias da I4.0 e engajamento dos stakeholders e definição do objeto de pesquisa: as foodtechs.
Publicações:
Seminário:
10º Ecoinovar - 2022 - apresentado
Periódico:
Logistics - A3 - 2022 - publicado

Artigo 3: As Tecnologias da Indústria 4.0 como motivadores para a Economia Circular em foodtechs: uma análise na perspectiva dos Stakeholders

Objetivo: Analisar as tecnologias da Indústria 4.0 como motivadores para a Economia Circular, em foodtechs, através dos stakeholders mais relevantes.
Método: Pesquisa exploratória qualitativa, com estudo de casos múltiplos em nove foodtechs, através de pesquisa em profundidade, análise documental e dados secundários.
Contribuição para Tese: Realizar o estudo empírico para resposta ao objetivo da Tese, aprofundando mais o foco no engajamento dos stakeholders para motivação da EC através das tecnologias da I4.0.
Publicações:
Seminários:
XXIV ENGEMA – 2022 - apresentado
IAMOT – 2023 - aceito
Periódico:
Sustainable Development - A1 - 2023 - Em revisão

Artigo 4: Cadeias de Suprimentos Circulares e Indústria 4.0: Uma Análise das Interfaces em Foodtechs Brasileiras

Objetivo: Identificar as interfaces entre as tecnologias da Indústria 4.0 e as cadeias de suprimentos circulares em foodtechs, por meio dos principais stakeholders do setor.
Método: Pesquisa exploratória qualitativa, através de estudo de casos múltiplos em oito foodtechs, com entrevista não estruturada.
Contribuição para a Tese: Buscar um arcabouço empírico para as respostas ao objetivo do estudo, com foco no engajamento dos stakeholders da cadeia de suprimentos circular, ampliando os achados dos estudos anteriores com foco também nas respostas das três perguntas da Teoria dos Stakeholders.
Publicações:
Seminários:
EnANPAD - 2023 - aceito
4th Symposium on Circular Economy and Sustainability - Grécia – 2023 - apresentado
Periódico:
RAUSP - A2 - 2023 - Em revisão

Artigo 5: As Tecnologias da Indústria 4.0 na potencialização da Economia Circular via engajamento dos stakeholders em foodtechs brasileiras

Objetivo: Identificar a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 para potencializar a Economia Circular, em foodtechs brasileiras, via engajamento dos stakeholders.
Método: Pesquisa exploratória através de estudo de casos múltiplos em oito foodtechs, com uma abordagem indutiva e através de questionários e entrevista estruturada.
Contribuição para a Tese: Finalizar a pesquisa com um estudo em foodtechs que já pratiquem a Economia Circular e fazem uso das tecnologias da I4.0, focando na analise do engajamento dos stakeholders.
Publicações:
Seminários:
XXVI – SemeAd – 2023 - Submetido
Periódico:
Business Strategy and the Environment - A1 – 2023 - a ser submetido

Sendo apresentada esta seção, esta Tese está assim estruturada: além desta introdução, em mais seis capítulos, sendo os cinco subsequentes composto individualmente de um artigo distinto já produzido. No último capitulo é apresentado as considerações finais da Tese e, por fim, são citadas as referências adotadas neste estudo.

Capítulo 2: Artigo 1 - Economia Circular e Indústria 4.0: Sinergias e desafios

Resumo:

Em um cenário de incertezas e caminhando para colapso de recursos ambientais em nível mundial, novas tendências e tecnologias necessitam ser aplicadas. A Economia Circular (EC) e a Indústria 4.0 (I4.0) possuem características para mudar este caminho. Com base neste pressuposto, o objetivo de pesquisa é analisar os estudos que abordam a interface existente entre EC e a I4.0. A revisão teórica apresentou os principais conceitos destes dois constructos, sendo esta mapeada por meio de uma Revisão Sistemática de Literatura em 63 papers retirados de journals de alto impacto. O periódico com mais relevância para este estudo foi o Journal of Cleaner Production, sendo o ano de 2020 com maior número de publicações. Para atender o objetivo deste estudo, descrevemos, na apresentação e análise dos resultados, as interfaces existentes, enumeramos os principais avanços para o campo da EC suportadas pela I4.0 e, por fim, a análise de conteúdo com base nos objetivos, limitações de pesquisa e recomendações para futuros estudos. Com isto, verificamos que o impacto da adoção de tecnologias da I4.0 na EC ainda carecem de mais pesquisas. Desta forma, identificados possíveis seis novos caminhos e desafios entre a relação da EC e I4.0: a aplicação da tecnologias para a produção mais limpa, utilização do Blockchain e Big Data na cadeia de suprimentos circulares, uso da IoT com os 10R's na manufatura avançada, levantar os impactos da manufatura aditiva na EC, compreender como a I.40 e EC podem apoiar os Stakeholders no entendimento deste novo paradigma e compreender os fatores para implementação destes campos teóricos em cadeias de suprimentos.

Palavras-Chaves: Economia Circular; Indústria 4.0; Revisão Sistemática de Literatura

Artigo apresentado no XXIV – SemeAD 2021 https://login.semead.com.br/24semead/anais/resumo.php?cod_trabalho=996
Publicado na Revista de Gestão - USP https://doi.org/10.1108/REGE-07-2021-0121

2.1 Introdução

A Economia Circular (EC) é um sistema econômico, que visa reduzir o consumo de recursos e a eliminação de desperdício, com uma promessa de continuidade do desenvolvimento econômico (Kouhizadeh et al, 2020). Esse é ainda um conceito emergente, o que implica falta de ferramentas para sua implementação, assim como sua ligação com as possíveis tecnologias digitais ainda não é bem difundida. Geralmente, como ocorre em qualquer mudança, a transição para uma EC requer repensar e redesenhar os modelos de negócios e rotinas atuais (Kristoffersen et al, 2020).

Nesses novos modelos de negócio, a transição pode ser alavancada pelas novas tecnologias digitais, por meio da coleta, análise e integração de dados. Estudos anteriores sobre os temas demostram que avanços da EC e da I4.0 se apresentam como um possível futuro para as organizações, até porque esses conceitos são rapidamente adotados por várias organizações a fim de alcançar a sustentabilidade global. Os fatores facilitadores da I4.0 e da EC influenciam fortemente as atividades relacionadas à cadeia de suprimentos, tendo nos fornecedores um componente essencial nesse processo, fazendo com que a atividade relacionada com eles tenha efeito direto sobre o desempenho sustentável da cadeia de suprimentos (Yadav et al, 2020). Contudo, não se pode deixar de lado a influência impactante da pandemia de COVID-19, afetando os processos de praticamente todas as cadeias produtivas, com bloqueios de organizações, isolamento social, distanciamento entre as pessoas e migração de mão de obra. Esse cenário, sem dúvida, leva as empresas a repensarem sua localização e suas estratégias de investimento (Kumar et al, 2020).

Diante disso, este estudo visa apresentar novos caminhos e discutir desafios a serem trilhados e enfrentados pelas tecnologias relacionadas à I4.0 e suas interfaces com EC. Com isso, a proposta de pesquisa visa responder a seguinte pergunta: com base em estudos anteriores, quais são os novos caminhos e desafios observados entre a relação da EC e I4.0? Para responder esse questionamento, estabeleceu-se como objetivo de pesquisa analisar os estudos que abordam a interface existente entre EC e I4.0. Assim, realizou-se uma revisão sistemática de literatura em 63 artigos, estruturando este paper com cinco seções. Além desta introdução; têm-se o referencial teórico, o qual versa sobre a EC e a I4.0; a descrição dos procedimentos metodológicos, o qual trata do protocolo da Revisão Sistemática de Literatura; a apresentação e análise dos resultados; e, por fim, as conclusões.

2.2 A Economia Circular e a Indústria 4.0

Nesta seção são apresentados os conceitos basilares para este estudo. Inicialmente apresentam-se as principais definições sobre EC, para, logo após, versar-se sobre a I4.0. Em ambas as subseções, priorizam-se os conceitos apresentados pelos autores identificados na revisão sistemática de literatura.

2.2.1 Economia Circular

A EC propõe não somente mitigar ou reduzir as estruturas, o desperdício e a demanda por material virgem finito, mas também objetiva promover o afastamento do meio ambiente como um "sumidouro", onde são despejados os materiais utilizados, devendo-se 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). Este modelo oferece uma solução sustentável para o problema de descarte e minimiza a necessidade de material virgem para fins de fabricação. Este é um conceito amplamente apreciado em todo o mundo para acomodar o desafio de implementação de uma economia mais verde e o uso mais eficaz dos recursos ambientais (Chauhan et al, 2021).

Visto que agendas globais destacam que o desenvolvimento econômico também precisa considerar aspectos sociais e ambientais, a Economia Circular demanda o engajamento com diversas práticas sustentáveis (Sehnem et al, 2021). Com isto, ela pode englobar as três principais dimensões da sustentabilidade: a prosperidade econômica, a justiça social e a qualidade ambiental (Elkington, 1994). Sendo assim, para implementação da Economia Circular, mudanças fundamentais são necessárias nos ambitos social, industrial e de consumo. A EC é, ainda, uma abordagem promissora para alcançar o desenvolvimento sustentável, visto que em nível industrial, as empresas de manufatura desempenham um papel importante na sua implementação, em virtude de sua influência na definição do ciclo de vida dos produtos (Pieroni, et al, 2021).

Nesse contexto, a EC desempenha também importante papel na produção industrial, ampliando aspectos como a reciclagem de recursos, a minimização do uso de materiais e de energia, beneficiando, assim, a economia, o meio ambiente e a sociedade ao proporcionar um grande equilíbrio e harmonia entre eles. A EC, enfim, é percebida como um novo modelo de negócio pelo qual se espera alcançar equilíbrio e harmonia entre economia e sociedade (Ma et al, 2020).

Em suma, a Economia Circular é um sistema que propõe substituir o desperdício de ineficientes ciclos lineares e abertos de produção para um circuito fechado, no qual o

desperdício é minimizado ou transformado em entrada de valores, cujos aspectos contribuem para o aumento da produtividade, otimizando o uso de recursos naturais e humanos. A EC é, ainda, restaurativa e regenerativa em sua concepção e visa manter produtos, componentes e materiais em altos níveis de utilidade e valor, sendo esses produtos distinguidos entre ciclos técnicos e biológicos (Sehnem et al, 2019).

Muitas são as ênfases da EC, devendo-se se destacar algumas para fins deste estudo: (i) os 10 R's (recusar, repensar, reduzir, reutilizar, reparar, recondicionar, remanufaturar, reaproveitar, reciclar e recuperar), ajudam as empresas a alcançar uma vantagem sobre seus concorrentes (Bag et al, 2021); (ii) a Produção Mais Limpa, visa a sustentabilidade por meio da conservação de energia, redução de emissão de gases e maior eficiência de produção, constituindo uma abordagem básica que busca otimizar a gestão ambiental dos processos (Ma et al., 2020; Lu et al., 2020); (iii) o Sistema Produto Serviço, sistema de produtos, serviços, redes de agentes e infraestruturas de apoio que se trabalham com um fluxo contínuo para 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, sistema de EC que utiliza processos que aplicam reciclagem, reutilização, remanufatura dentro de um sistema fechado, sustentado por seis princípios que orientam esta transição: regenerar, compartilhar, otimizar, loop, virtualizar e trocar (Kouhizadeh et al., 2020); e (v) a Simbiose Industrial, 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. Essa simbiose projeta fluxos de materiais em que o consumo de energia e material é otimizado, a geração de resíduos é minimizada e os efluentes de um processo servem como material para outros processos (Sehnem et al., 2019).

2.2.2 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 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, essa transformação chamou muito a atenção em todo o mundo (Rejikumar et al, 2019). A I4.0 é orientada por dados em tempo real, que fornecem abordagens alternativas, visando alcançar a produção e o consumo sustentáveis, que permitem minimizar os desperdícios, o consumo de energia e a deterioração ambiental (Yadav et al., 2020).

A I4.0 compreende diferentes tecnologias, a citar: a internet de coisas (IoT), a computação em nuvem, a manufatura aditiva, o Cyber Security, os Sistemas Cyber-físicos, a Blockchain, a realidade aumentada, a inteligência artificial, o Big Data, a integração de sistemas de simulação e o robô autônomo. As técnicas da I4.0 são capazes de reduzir energia, equipamentos e de minimizar a utilização de recursos humanos, sendo ela uma construção futurística, que nutre a evolução e solução de sistemas autônomos de produção (Kumar et al., 2020). Observa-se que, a cada dia, os estudos sobre a I4.0 têm se popularizado, principalmente devido aos avanços recentes dessas 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 conhecimentos comuns em toda a cadeia de suprimento. Essas ferramentas também podem ser aplicadas para automatizar atividades operacionais críticas. No entanto, o principal impacto da I4.0 ainda é sua capacidade de produzir e acessar informações em tempo real, o que permite maior visibilidade e mitiga riscos na rede da cadeia de suprimentos (Bag et al., 2021). Sendo assim, a I4.0 permite que as empresas consigam trocar informações, executar ações e se controlar de forma independente (Chauhan et al., 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). Além disso, ao detectar determinados comportamentos anormais e ajustar os limites de desempenho em sistemas produtivos, ela consegue usar os dados históricos para melhorar a qualidade de produtos. Outrossim, o melhor compartilhamento de informações em toda a cadeia de valor ajuda a controlar e fazer ajustes em tempo real das operações conforme a demanda variável, aumentando, desse modo, a eficiência operacional e fornecendo informações sobre o potencial para novos produtos, serviços e modelos de negócios (Kristoffersen et al., 2020).

Posto isso, a abordagem, neste estudo, toma como base a integração do negócio com os processos de fabricação e com todos os atores da cadeia de valor da empresa e 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).

2.3 Procedimentos Metodológicos

Para o levantamento da base teórica, foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura, numa análise que compreendeu a busca de estudos previamente publicados nas

bases de dados Scopus e Web of Science. Ao final, foram localizados 63 artigos; todos disponíveis em formato completo e publicados em *journals* de alto impacto. A busca foi realizada no dia 17 de outubro de 2020, nas línguas inglesas, espanhola e portuguesa. Na sequência, fez-se a leitura detalhada de cada um desses artigos, adotando-se, para a análise deles, o protocolo de pesquisa de Tranfield et al. (2003).

Na Tabela 2.1, descreve-se todo o processo seguido para execução deste estudo: estágios, fase, etapas e detalhamento.

Tabela 2.1 - Percurso metodológico do estudo

Estágios	**Fases**	**Etapas**	**Detalhamento**
Estágio I: Planejamento da Revisão	1	Proposta de Revisão	Meta-análise de estudos pregressos, que versam sobre EC e I4.0
	2	Desenvolvimento do Protocolo de Revisão	O protocolo utilizado seguiu os seguintes parâmetros: 1 - Strings de busca: “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". Strings de busca que buscaram abranger os temas estudados. 2 - Bases de dados consultadas: Scopus e Web of Science. 3 - Critério de inclusão dos estudos: publicações nas áreas de Business, Management e Accounting. 4 – Estudos disponíveis na íntegra.
Estágio II: Condução da Revisão	3	Seleção dos estudos	Tabulação dos dados em planilha Excel, com 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, permitindo responder à pergunta de pesquisa.
Estágio III: Apresentação dos Resultados	5	Análise dos dados	Mapeamento do status atual dos estudos pregressos sobre EC e I4.0, buscando encontrar novos caminhos de pesquisa com base nos objetivos, nas limitações das pesquisas e recomendações para futuros estudos.
	6	Discussões e conclusões	Desenvolvimento de reflexão sobre os principais achados, e, com base nestas evidências, foram construídas proposições que permitam novos

			estudos, de forma inédita e original. As conclusões foram tecidas de modo a destacar as contribuições práticas e teóricas do estudo realizado.

2.4 Apresentação e análise dos resultados

Nesta seção apresenta-se uma breve descrição do perfil dos artigos analisados, citando-se os principais periódicos pesquisados, os anos de sua publicação e 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.

2.4.1 Perfil dos artigos analisados

Todos os 63 artigos analisados foram extraídos de periódicos de alto impacto de bases internacionais. Grande parte dos estudos foram pesquisados no Journal of Cleaner Production, seguido, como segunda fonte de destaque, do periódico Benchmarking: An International Journal. No mais, houve uma pulverização de fontes de coleta de informações, com sete periódicos apresentando dois artigos coletados em cada um, e outros 17 journals onde foram coletados 1 estudo em cada um, identificados como “outros”, conforme apresentado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - 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%

Observa-se que, embora a maioria dos estudos se concentrem em revisões teóricas sobre os temas de estudo, experimentos e estudos de caso também são encontrados em um número considerável de papers. Por outro lado, as *surveys* (pesquisas quantitativas) se apresentam com menor número, mesmo assim, nesta amostra possuem relevância. Os anos de 2019 e 2020 destacam-se como o período em que a maioria dos estudos foram publicados. Nesse sentido,

observa-se que, sendo o levantamento feito em outubro de 2020, quando da conclusão deste paper, no ano de 2021, já havia dois estudos publicados. Contudo, os anos de 2017 e 2018 também aparecem na amostra com pouco registro de publicações sobre o tema. Esses números destacam que os estudos pesquisados foram recentemente publicados nos *journals* pesquisados.

2.4.2 Interfaces existentes entre Economia Circular e Indústria 4.0

Nesta subseção são descritas as interfaces existentes entre a EC e a I4.0, constatando-se que empresas com menor adesão a técnicas de I4.0 têm maior dificuldade em implementar os 10R, e caracterizam-se como empresas com menor número de funcionários e menor poder de investimentos. Na contramão dessas, as empresas de manufatura com alto grau de adoção de técnicas de I4.0 demonstram um nível mais alto de recursos de manufatura avançada e, consequentemente, de facilidade em adotar os 10R, conferindo, assim, que a capacidade avançada de manufatura influencia positivamente nos resultados do desenvolvimento sustentável. A utilização da I4.0 tem efeito moderador na utilização dos 10R nos sistemas de fabricação, podendo, também, melhorar o desempenho operacional na fabricação avançada com adoção dos 10R e, desse modo, melhorar o desempenho da EC, atingindo, consequentemente, metas avançadas de desenvolvimento sustentável (Bag et al., 2021).

A aplicação de tecnologias da I4.0 pode fornecer um resultado positivo em direção à responsabilidade social, corporativa e sustentável das operações. Por sua vez, 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 ajudam na transição da economia linear para a EC. Além disso, as práticas avançadas da I4.0 podem reduzir custos, melhorar a sustentabilidade e fornecer produtos personalizáveis aos clientes. No ambiente ciberfísico, as máquinas são capazes de comunicar, coletar informações e informar decisões por coleta de dados em tempo real, por meio de ferramentas, como IoT, Inteligência Artificial (IA), Big Data, informações nas nuvens, etc. (Kumar et al., 2020).

Os métodos de Produção Mais Limpa são essenciais para se alcançar sucesso em abordagens das economias circulares. A I4.0 suporta esses métodos, focando-se em suas tecnologias inteligentes, aumentando a capacidade de interconexão de pessoas e recursos de informação, além da ampliação da cadeia de valor, com tecnologias que 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 isso, 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 um melhor desempenho, já que este carece de controle durante todo o processo de fabricação. A análise de Big Data, devido ao aumento de dados gerados em uso intensivo de energia nas Indústrias manufatureiras, oferece novas oportunidades para a implementação de estratégicas de produção mais limpa (Ma et al., 2020; Wang et al., 2020).

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

Nesta subseção, enumeram-se as contribuições que a I4.0 pode trazer para a EC, evidenciando-se, com isto, os seguintes possíveis avanços:

Artificial Neural Networks: São redes que reconhecem padrões úteis na rastreabilidade dos produtos disponibilizados ao mercado, e têm por objetivo a busca da circularidade dos materiais no projeto e na execução, contribuindo, assim, para a EC. Essas redes neurais, ainda, trouxeram à tona a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina para estimar a quantidade de materiais recicláveis, reutilizáveis e residuais nos processos produtivos. Além disso, ajudam na rastreabilidade e previsibilidade do ciclo de vida (EoL) do material, apoiando a previsibilidade de compra para novos produtos (Akanbi et al, 2020).

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

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

Blockchain: São livros digitais distribuídos, que mantêm registros e transações criptografados, com capacidade de operar de forma independente, sem a necessidade de comunicação com outros agentes, para confirmar a credibilidade das transações. O Blockchain envolve algumas dimensões que podem transformar e beneficiar os processos de negócios atuais, sendo que tais recursos suportam a transparência da informação e tornam esta tecnologia confiável. Seu objetivo é alavancar práticas de circularidade. A fonte de materiais e produtos,

os atores envolvidos, os processos, o consumo de energia e o fim do ciclo de vida são exemplos de informações que podem ser disponibilizadas por esta tecnologia. Enfim, o uso destas tecnologias pode maximizar resultados de programas de reciclagem e circularidade (Kouhizadeh et al., 2020; Ma et al., 2020).

Convolutional Neural Networks: É uma classe de rede neural artificial, aplicada com o processamento e a análise de imagens digitais. Esta rede pode ser utilizada na EC para captar uma imagem de entrada, atribuindo importância (peso e vieses, que podem ser aprendidos), características do objeto, e conseguindo definir a diferenciação dos objetos entre eles. Por exemplo, pode identificar se um objeto foi fabricado utilizando matéria-prima de reuso de um objeto que usa materiais virgens (Akanbi et al., 2020).

Deep Learning (DL): Trata-se de uma técnica computacional que utiliza múltiplas camadas de processamento ocultas, para aprender representações de dados e relação com vários níveis de abstração, gerando modelos de aprendizagem profunda que são redes neurais feitas de três camadas principais, ou seja, camadas de entrada, ocultas e de saída. Os dados gerados são utilizados para otimização do site, a fim de 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 (Lieder et al., 2020; Akanbi et al., 2020).

Digitalização: Esta tecnologia adicionou, nos processos industriais de manufatura, novas possibilidades ao gerenciamento de dados, à inteligência artificial e às redes e sistemas de resiliência. A digitalização contribui para a EC via geração de dados, redução de custos dos processos, e provisão de informações para a tomada de decisão com precisão e em tempo real (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. Esses códigos são úteis nas decisões de gerenciamento e mineração de dados, realizadas 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. Uma oportunidade para explorar a IoT é a digitalização das práticas de EC, implementando ambientes industriais inteligentes (Rosa et al., 2019; Bag et al., 2021; Rajput & Sing, 2020).

Machine learning: O aprendizado de máquina, em que os computadores conseguem aprender de acordo com a resposta esperada, via associação de diferentes dados, que podem ser imagens, números, mapas, fotografias etc. Os algoritmos de aprendizado de máquina são simulações baseadas em dados, sendo que os modelos de simulação podem ser usados para

gerar dados abundantes. Ambos os programas de simulação podem criar grandes fluxos de dados aleatórios ao longo do tempo. Os estudos existentes mostram que a combinação de fatores de impacto ambiental, mais elementos de serviço e mudanças de preços, tem um forte efeito sobre a preferência dos clientes, em particular, o aspecto de redução de emissão de carbono (Lieder et al., 2020).

Manufatura aditiva: Esta tecnologia, também 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 à subtração e metodologias de manufatura formal. Assim, pode dar suporte ao gerenciamento do ciclo de vida de produtos e processos, podendo, ainda, 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).

Sistemas Fuzzy Dematel: Estes sistemas permitem traduzir em termos matemáticos a informação imprecisa, expressa por um conjunto de regras linguísticas, sendo este um método amplamente utilizado, que pode fornecer o relacionamento casual entre os elementos em um sistema complexo. Este método matemático pode ser usado na EC como apoio na tomada de decisão para adoção de estratégias de realização de controle, classificação, previsão de séries, planejamento e otimização, por relações de causa/efeito (Khan & Haleem, 2020; Kumar et al., 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 dão suporte para a eficiência dos sistemas operacionais e de processamento. Esta tecnologia objetiva o aumento na qualidade do produto, segurança e sustentabilidade, e suas ações contribuem para o desenvolvimento da EC (Sharma et al., 2020).

Com base no observado nos estudos pesquisados, verifica-se que as tecnologias da I4.0 contribuem, em diversos aspectos, para a aplicação da EC. A utilização dessas tecnologias, aliada a práticas em manufatura, à cadeia de suprimentos e ao desenvolvimento de produtos, entre outros, objetiva maximizar a utilização desses dois campos teóricos.

2.4.4 Análise de conteúdo com base nos objetivos, nas 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, foram levantadas premissas de acordo com esta

classificação, com o fim de gerar pressupostos para próximas pesquisas e responder à pergunta deste estudo. Assim, descrevem-se esses 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 mencionado nos estudos de Bag & Pretorius (2020); Chauhan & Singh (2019); Rajput & Singh (2019); Erro-Garcés, (2019); D'Amato et al. (2017); Van Engeland et al. (2020). Os estudos de Van Fan et al. (2019), por sua vez, apresentam uma visão geral das conquistas da produção mais limpa e seleção de trabalhos recentes relevantes os quais lidaram com ferramentas de otimização e design de processo. Outras revisões estão focadas em levantar arcabouços teóricos sobre a I4.0, como Rejikumar et al. (2019); ou Sehnem et al. (2019), que 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: Estudos práticos, em sua concepção, foram apresentados, dos quais pode-se destacar: (i) analisar a intensidade dos principais impulsionadores da manufatura enxuta, que auxiliam na adoção do Lean Manufacturing em empresas de manufatura em economias em desenvolvimento (Yadav et al., 2019); (ii) projetar e implementar uma ferramenta de suporte à decisão, baseada na web, para as estratégicas da cadeia de suprimentos (Paul & Bussemaker, 2020); (iii) 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, et al., 2019); e (iv) 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 versaram sobre identificar os principais desafios que impedem a adoção de aspectos da I4.0 e EC, como no estudo de Yadav et al. (2020), desenvolvido em uma cadeia de suprimentos sustentável em uma Indústria automobilística na Índia. No mesmo caminho, um estudo buscou explorar a relação entre esses conceitos no Brasil, bem como apresentar caminhos estratégicos para superar as limitações para superação destes, em países emergentes (Cezarino et al., 2021). Fornecer uma análise

sistemática das inter-relações de motivadores de transição para a Economia Circular foi o objetivo do estudo de Gue et al. (2020). As questões e oportunidades para desenvolver um sistema de gestão inteligente para lixo sustentável foram investigadas no estudo de Fatimah et al. (2020). Outro tema destacado nos estudos foram as barreiras que influenciam a adoção de Cadeias de Suprimentos Circulares na Indústria de plástico indiana, identificadas por Khandelwal & Barua (2020). A contribuição potencial dos provedores de capacidade para um ambiente da 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 foi o objetivo explorado no estudo de Lardo et al. (2020).

Surveys: Possibilitou identificar e analisar as relações causa-efeito entre as barreiras para implantação de cadeias circulares de suprimentos de alimentos, na China (Farooque et al., 2019). Outro estudo analisou o efeito das práticas da EC no desempenho da empresa, para uma cadeia de suprimentos circular e explorou o papel moderador que o Big Data desempenha dentro desses relacionamentos (Del Giudice et al. 2021). O cerne do estudo de Moktadir et al. (2020) foi identificar os fatores indicadores de performance mais relevantes, em diferentes perspectivas, com foco na excelência operacional em direção à sustentabilidade na Indústria de produtos de couro.

Quanto às limitações dos estudos verificados, esta análise permitiu agrupar os seguintes achados: o tamanho da amostra era pequeno ou o estudo foi efetuado somente em um determinado setor do mercado, como demostraram os estudos de Lu et al. (2020), Akinade & Oyedele (2019), Bag et al. (2021), Del Giudice et al. (2021), Van Engeland et al. (2020), Sandvik & Stubbs (2019) e Wang et al. (2020); a revisão teórica foi efetuada em, no máximo, somente duas línguas (inglesa ou espanhola) (Chauhan & Singh, 2019; Erro-Garcés, 2019), ou em somente um banco de dados, o Scopus (Sehnem et al., 2019); estudos com respostas subjetivas dos entrevistados, evidenciada por Del Giudice et al. (2021), Kumar et al. (2020), Rajput & Singh (2019) e Yadav et al. (2019); a sugestão de validação empírica do modelo teórico proposto, destacada por Chauhan et al. (2019) e Chidepatil et al. (2020); o estudo foi efetuado somente em um país, descrita como limitação nos estudos de Khandelwal & Barua (2020), Bag et al. (2021), Akinade & Oyedele (2019), Akanbi et al. (2020), Yadav et al. (2020) e Zhang et al. (2019); e os constructos da pesquisa (EC e I4.0) ainda são relativamente novos, necessitando de mais investigação, limitação descrita por Del Giudice et al. (2021) e Rejikumaret et al. (2019).

Sendo assim, esta completa análise dos estudos permite uma visão abrangente para que sejam levantados pressupostos teóricos para futuros estudos, conforme são apresentados na subseção a seguir.

2.4.5 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 suportada pela Indústria 4.0 e a análise de conteúdo com base nos objetivos, nas limitações de pesquisa e recomendações para futuros estudos, são apresentados cinco pressupostos teóricos para futuras 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 são dedicados a alcançar uma produção mais limpa, visando mitigar os danos ao meio ambiente, somado a que as Indústrias estão constantemente enfrentando problemas para adotar uma produção mais limpa. Estudos anteriores têm apresentado resultados que mostram a utilização de tecnologias da I4.0, tais quais a IoT, o Big Data e a digitalização, como um avanço para a EC, apontando para a redução de emissão de gases nocivos ao meio ambiente, menos utilização de energia elétrica e mitigando o desperdício de materiais. Além disso, o uso dessas técnicas também pode apoiar sistemas de remanufatura inteligente. Este pressuposto tomou como base os estudos de Ma et al. (2020), Yadav et al. (2020), Rajput & Singh (2019), Rajput & Sing (2020), Rosa et al. (2019), Kerin & Pham (2019), Kerin & Pham (2020) Farooque et al. (2019), Erro-Garcés (2019), Moktadir et al. (2020), Lu et al. (2020) e 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 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. Essas 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 et al. (2020) e Del Giudice et al. (2021).

Proposição 3: Identificar 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 isso ainda é debatido em estudos acadêmicos, e seus os efeitos práticos sobre na EC no contexto de uma produção baseada na Manufatura Aditiva. Para a definição de tal pressuposto, tomou-se como base os artigos de Rosa et al. (2019) e de Tavares et al. (2020).

Proposição 4: Buscar uma melhor compreensão sobre 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, no poder público, nos sócios e na comunidade), os recursos tangíveis e habilidades humanas para a adoção de tecnologias da I4.0 e EC, visto 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 relacionam-se à falta de articulação das esferas públicas e privadas para a promoção de novos modelos de negócios circulares. Os estudos basilares para esta definição têm como autores Cezarino et al. (2021), Gue et al. (2021), Van Engeland et al. (2020), Sehnem et al. (2019), Zhou et al. (2020) e Bag & Pretorius (2020).

Proposição 5: 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. Embora, muitas áreas, como, por exemplo, cadeia de suprimentos do setor da saúde, tenham começado a explorar a Indústria 4.0, poucos casos específicos relataram sobre esses estudos. Para as perspectivas futuras, o estudo detalhado das barreiras e a compreensão de sua tecnologia subjacente devem facilitar a implementação eficaz da I4.0. Os estudos tomados como base para definição desta futura avenida de estudos foram os de Rajput & Singh (2019), Van Engeland et al. (2020), Chauhan et al. (2019), Wang & Zhang (2020), Khandelwal & Barua (2020), Rejikumar et al. (2019) e Farooque et al. (2019).

2.5 Considerações Finais

Este estudo, ao analisar estudos que abordaram a interface existente entre EC e I4.0, permitiu fazer algumas constatações, ressaltando que a revolução digital trouxe muitos desafios e oportunidades para a manufatura das organizações.

Constatou-se, também, que, com o impacto da adoção de tecnologias da I4.0 na EC, são necessárias mais pesquisas e aplicações nas organizações, principalmente no que tange ao mercado brasileiro (Cezarino et al., 2021), visto que essas tecnologias podem influenciar positivamente a produção sustentável e nas capacidades de EC, considerando que a integração da I4.0 e a sustentabilidade está ainda em estágios iniciais. Os gestores das organizações, principalmente das manufatureiras, precisam considerar a adoção de tecnologias da I4.0 para aumentar a performance da sustentabilidade empresarial (Zhang et al., 2019).

Quanto ao objetivo de pesquisa proposto para este estudo, considera-se que foi atendido, já que foram apresentados novos caminhos e propostos desafios em relação aos dois campos teóricos estudados. Para se chegar a esta resposta, efetuou-se a análise das possíveis interfaces existentes entre a EC e a I4.0; foram descritos os principais avanços para o campo da EC, suportadas pela I4.0; bem como foram expostos os principais objetivos gerais, as limitações de pesquisa e as recomendações para futuros estudos.

Com base nesta análise, a principal conclusão do estudo foi que a busca de novos cominhos e desafios ainda é necessária, tanto em nível teórico, como gerencial. Assim, são apresentadas cinco 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; levantar os impactos da adoção da manufatura aditiva na EC; 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, pode-se citar que as interrelações entre os dois campos teóricos, mesmo que sejam temas ainda em desenvolvimento na academia, apresentam um arcabouço abrangente, podendo gerar novos 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). Pode-se ressaltar, também como contribuição, a apresentação das interrelações desses 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 nesse aspecto, pois, para aplicação destas técnicas, carecem de capital financeiro, conforme afirmam Kumar et al. (2020) e Lu et al. (2020). Como implicações gerenciais, sugere-se uma agenda de transição para a EC, utilizando tecnologias da I4.0 para pessoal de nível operacional, tático e estratégicos das organizações, assim como a adoção de 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, também, suas limitações, tais como a carência de maior profundidade de pesquisa, visto que, apesar de consistente, a base de amostra de estudos anteriores ainda é bastante recente. As *strings* de pesquisa podem ter minimizado o número de estudos levantados, o que, em caso contrário, poderia gerar uma amostra maior de estudos. Uma grande parte dos estudos levantados caracterizam-se como pesquisas bibliográficas, evidenciando que deste é um tema embrionário, e que carece de maiores estudos empíricos, assim como, que o viés dos pesquisadores também deve ser considerado.

Além dos cinco pressupostos apresentados anteriormente, são feitas, também para futuros estudos, as seguintes recomendações ou sugestões, para as quais tomou-se como base os papers desta RSL: Replicar os estudos já efetuados, alterando a abordagem de pesquisa, de qualitativa para quantitativa (Del Giudice et al., 2021; 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); utilizar a interface entre os campos teóricos, focando no contexto social da sustentabilidade (Ma et al., 2020; Sharma, et al., 2020); descrever e analisar a transição de uma fábrica tradicional, para uma que adote a EC e I4.0 (Erro-Garcés, 2019); aplicar o modelo teórico, proposto no estudo, no campo prático (Gan et al., 2020; Gue et al., 2021; Kerin & Pham, 2020; Kristoffersen et al., 2020); propor maior aproximação das universidades com as Indústrias para promover a simbiose entre EC e I4.0 (Ramakrishna et al., 2020); e, por fim, replicar o 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*, *274*, 122843. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122843.

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*. *209*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.232.

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*. *30*(4), 864-898. https://doi.org/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. *231*, 107844. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107844.

Cezarino, L. O., Liboni, L. B., Oliveira Stefanelli, N., Oliveira, B. G., & Stocco, L. C. (2021). Diving into emerging economies bottleneck: Industry 4.0 and implications for circular economy. *Management Decision*, *59*(8), 1841-1862. https://doi.org/10.1108/md-10-2018-1084.

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*, *279*, 123854. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123854.

Chauhan, C., & Singh, A. (2019). A review of Industry 4.0 in supply chain management studies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *31*(5), 863-886.. https://doi.org/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*, *28*(5), 1638-1664. https://doi.org/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. https://doi.org/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. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.053.

Del Giudice, M., Chierici, R., Mazzucchelli, A., & Fiano, F. (2021). Supply chain management in the era of circular economy: the moderating effect of big data. *The International Journal of Logistics Management*, *32*(2), 337-356.. https://doi.org/10.1108/ijlm-03-2020-0119.

Elkington, J. (1994). Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. *California management review*, *36*(2), 90-10. https://doi.org/10.2307/41165746.

Erro-Garcés, A. (2019). Industry 4.0: defining the research agenda. *Benchmarking: an international journal*, *28*(5), 1858-1882. https://doi.org/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. https://doi.org/10.1108/scm-10-2018-0345.

Fatimah, Y. A., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. (2020). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, *269*, 122263. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263.

Gan, V. J., Lo, I. M., Ma, J., Tse, K. T., Cheng, J. C., & Chan, C. M. (2020). Simulation optimisation towards energy efficient green buildings: Current status and future trends. *Journal of Cleaner Production*, *254*, 120012. https://doi.org/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*, *276*, 123204.. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123204.

Kerin, M., & Pham, D. T. (2019). A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. *Journal of cleaner production*, *237*, 117805. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117805.

Kerin, M., & Pham, D. T. (2020). Smart remanufacturing: a review and research framework. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *31*(6), 1205-1235. https://doi.org/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*, *5*(02), 253-269. https://doi.org/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. https://doi.org/10.1177/0972150920948818.

Kouhizadeh, M., Zhu, Q., & Sarkis, J. (2020). Blockchain and the circular economy: potential tensions and critical reflections from practice. *Production Planning & Control*, *31*(11-12), 950-966. https://doi.org/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. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044.

Kumar, R., Singh, R. K., & Dwivedi, Y. K. (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. *Journal of cleaner production*, *275*, 124063. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063.

Lardo, A., Mancini, D., Paoloni, N., & Russo, G. (2020). The perspective of capability providers in creating a sustainable I4. 0 environment. *Management Decision*, *58*(8), 1759-1777. https://doi.org/10.1108/MD-09-2019-1333.

Lechner, G., & Reimann, M.(2020). Integrated decision-making in reverse logistics: an optimisation of interacting acquisition, grading and disposition processes. *International Journal of Production Research*, *58*(19), 5786-5805. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1659518.

Lieder, M., Asif, F. M., & Rashid, A. (2020). A choice behavior experiment with circular business models using machine learning and simulation modeling. *Journal of Cleaner Production*, *258*, 120894. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120894.

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*, *271*, 122456.. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122456.

Ma, S., Zhang, Y., Liu, Y., Yang, H., Lv, J., & Ren, S. (2020). Data-driven sustainable intelligent manufacturing based on demand response for energy-intensive industries. *Journal of Cleaner Production*, *274*, 123155.. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123155.

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*, *29*(8), 3331-3351. https://doi.org/10.1002/bse.2575.

Paul, M., & Bussemaker, M. J. (2020). A web-based geographic interface system to support decision making for municipal solid waste management in England. *Journal of cleaner production*, *263*, 121461. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121461.

Pieroni, M. P., McAloone, T. C., & Pigosso, D. C. (2021). Circular economy business model innovation: Sectorial patterns within manufacturing companies. *Journal of cleaner production*, *286*, 124921. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124921.

Rajput, S., & Singh, S. P. (2019). Industry 4.0 - challenges to implement circular economy. *Benchmarking: An International Journal*, *28*(5), 1717-1739. https://doi.org/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*, *277*, 123853.. https://doi.org/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.

Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2019). Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2020). Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, *58*(6), 1662-1687. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1680896.

Sandvik, I. M., & Stubbs, W. (2019). Circular fashion supply chain through textile-to-textile recycling. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, *23*(3), 366-381.https://doi.org/10.1108/jfmm-04-2018-0058.

Sehnem, S., Provensi, T., Silva, T. H. H., & Pereira, S.C.F., (2021). Disruptive innovation and circularity in start-ups: A path to sustainable development. *Business Strategy and the Environment*, *31*(4), 1292-1307. https://doi.org/10.1002/bse.2955.

Sehnem, 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. https://doi.org/10.1108/scm-06-2018-0213.

Sharma, R., Jabbour, C. J. C., & Jabbour, A. B. L. S (2020). Sharma, R., Jabbour, C. J. C., & Lopes de Sousa Jabbour, A. B. (2021). Sustainable manufacturing and industry 4.0: what we know and what we don't. *Journal of Enterprise Information Management*, *34*(1), 230-266. https://doi.org/10.1108/jeim-01-2020-0024.

Sreedharan V, R., P, A., Persis, J., & KM, S. (2019). Industry 4.0: key findings and analysis from the literature arena. *Benchmarking: An International Journal*, *26*(8), 2514-2542. https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2018-0281.

Tavares, T. M., Godinho Filho, M., & Ganga, G. M. D. (2020). The relationship between additive manufacturing and circular economy: A sistematic review. *Independent Journal of Management & Production*, *11*(5), 1648-1666. https://doi.org/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 Managament*.*14*(3) 207–222. https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375.

Van Engeland, J., Beliën, J., De Boeck, L., & De Jaeger, S. (2020). Literature review: Strategic network optimization models in waste reverse supply chains. *Omega*, *91*, 102012. https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.12.001.

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*, *247*, 119181.. https://doi.org/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*, 1-13. https://doi.org/10.1007/s10257-020-00477-1.

Wang, N., Ren, S., Liu, Y., Yang, M., Wang, J., & Huisingh, D. (2020). An active preventive maintenance approach of complex equipment based on a novel product-service system

operation mode. *Journal of Cleaner Production*, *277*, 123365. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123365.

Yadav, G., Luthra, S., Huisingh, 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. *Journal of Cleaner Production*, *245*, 118726. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118726.

Yadav, G., Luthra, S., Jakhar, S. K., 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*, *254*, 120112. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120112.

Zhang, A., Venkatesh, V. G., Liu, Y., Wan, M., Qu, T., & Huisingh, D. (2019). Barriers to smart waste management for a circular economy in China. *Journal of Cleaner Production*, *240*, 118198. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118198.

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*, *271*, 122680. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122680.

Capítulo 3: Artigo 2 - Indústria 4.0 e Economia Circular: Oportunidades para Integração em Startups

Resumo
O mundo vive uma emergência global no quesito climático, sustentável e epidêmico. Nesse sentido, este estudo busca analisar a adoção e implementação das tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 e à integração com a Economia Circular (EC), visando minimizar os efeitos da escassez de recursos no cenário atual. Assim, a primeira etapa consiste em uma revisão sistemática de literatura para a categorização analítica das tecnologias da Indústria 4.0, com foco na implantação da Economia Circular. Na segunda etapa, foi efetuada a validação empírica, com 45 foodtechs dos segmentos de cadeia agropecuária, *farm to table*, reaproveitamento e gestão de resíduos e descarte. Ao fim, as contribuições evidenciaram que: (i) os modelos de negócios dessas organizações estão alinhados com os pressupostos da Economia Circular; (ii) as tecnologias da Indústria 4.0 estão suportando a Economia Circular nas foodtechs; (iii) digitalização, rastreabilidade, software como serviço, rastreabilidade, soluções digitais e plataformas compartilhadas ocupam a liderança na interface entre EC e I4.0; e (iv) parcerias e integração são elementos estratégicos na criação de ecossistemas inovadores para o sucesso das foodtechs. As principais contribuições deste estudo são a realização de um diagnóstico sobre o tema pesquisado e a proposição de uma agenda para a consolidação das tecnologias da Indústria 4.0, objetivando o sucesso da Economia Circular.

Palavras-chaves: Startups; Economia Circular; Indústria 4.0

Artigo apresentado no 10 º Fórum Internacional Ecoinovar - http://ecoinovar.submissao.com.br/10ecoinovar/anais/resumo.php?cod_trabalho=229
Publicado na Revista Logistics - https://doi.org/10.3390/logistics6010014

3.1 Introdução

Globalmente, está se vivendo uma instabilidade gigantesca (Lucarini & Bodai, 2017). A pandemia, ocasionada pela Covid-19 (Saadat et al., 2020), as mudanças do clima (Houghton et al., 1990), as necessidades urgentes de aprender a gerenciar de modo eficiente o lixo que o ser humano produz (Uzoejinwa et al., 2018), as assimetrias entre fome e desperdício de alimentos (Sehnem et al., 2020), as instabilidades econômicas (Brown, 1994) e os desastres naturais (Alexander, 2018, sinalizam para uma necessidade urgente de repensar os processos e modelos de produção. E isso, certamente, demanda adesão a novas alternativas, as quais, inclusive, já existem, como, por exemplo, têm-se a Indústria 4.0, além de novas formas de produzir, que permitam a circularidade dos recursos (Massaro et al., 2020).

A Economia Circular busca reduzir o consumo de recursos e eliminar o desperdício, com uma visão de continuidade do desenvolvimento econômico (Kouhizadeh et al., 2020). Essa transição é um dos principais objetivos das instituições governamentais em todo o planeta, necessária para a maximização de desenvolvimento sustentável nas organizações (Lechner & Reimann, 2019). A adoção de estratégias circulares, embora desempenhem papel vital na criação de vantagem competitiva, ainda é um tanto modesta nas organizações, e poucas melhorias existem para desatrelar o consumo linear. Geralmente, a transição para uma EC requer repensar e redesenhar os modelos de negócios e rotinas em vigor (Kristoffersen et al., 2020). Nesse novo cenário, as tecnologias digitais, descritas, em seu conjunto, como Indústria 4.0, podem alavancar essa transição por meio da coleta, análise e integração de dados entre seus principais possíveis avanços, deste os quais pode-se citar a abrangente influência nos processos relacionados à cadeia de suprimentos, visto que os fornecedores são considerados um componente essencial (Yadav et al., 2020).

Nessa perspectiva, este estudo tem como propósito responder a seguinte pergunta de pesquisa: Como as organizações estão adotando e implementando as tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 e à integração com a Economia Circular, visando minimizar os efeitos da escassez de recursos em situações de emergência? Para compreender esse fenômeno social, em um primeiro momento, voltou-se o olhar para a literatura pregressa existente, a fim de identificar o que já foi desvendado sobre esse assunto. Assim, a partir dos dados coletados nessa revisão, foi possível analisar a adoção e implementação das tecnologias relacionadas a Indústria 4.0 e a integração com a Economia Circular, visando minimizar os efeitos da escassez de recursos em situações de emergência. Feito isso, foram elaboradas proposições teóricas em forma de agenda empresarial e possível validação empírica em um contexto organizacional de startups.

A principal contribuição deste estudo, consiste em sinalizar uma avenida importante para auxiliar em situações de emergência global, por meio de alternativas inovadoras e passíveis de execução sistematizada em uma agenda de pesquisa.

Assim, a estrutura do estudo contempla uma seção teórica, que versa sobre a Economia Circular (EC), a Indústria 4.0 (I4.0) e as relação entre esses dois campos; outra, tratando da apresentação do framework teórico da pesquisa; seguidas da seção de metodologia, que apresenta o percurso percorrido para conduzir esta pesquisa; da seção de apresentação, análise e discussão dos resultados da pesquisa; e, por fim, da apresentação das considerações finais.

3.2 A Economia Circular, a Indústria 4.0 e os avanços da relação entre estes dois campos

Nesta seção são apresentados os conceitos-base para este estudo, iniciando pela apresentação das principais definições sobre Economia Circular. Na segunda subseção, serão descritos os conceitos acerca da Indústria 4.0, e ao final apresentam-se os possíveis avanços para o campo da Economia Circular, suportadas pela Indústria 4.0.

3.2.1 A Economia Circular

O modelo econômico “extrair, transformar, descartar”, utilizado atualmente e que necessita de grande quantidade de materiais, de energia, já foi importante para o desenvolvimento industrial. No entanto, os constantes aumentos nos preços e a pressão sobre uso desenfreado dos recursos despertaram o alerta em líderes de negócios e formuladores de políticas para a necessidade de repensar o uso de materiais e de energia. Sendo assim, muitos destes líderes argumentam que se está vivendo o momento ideal para aproveitar os possíveis benefícios da Economia Circular, a qual tem por princípio restaurar e regenerar. Seu objetivo é manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor em todo o ciclo de vida, distinguindo entre ciclos técnicos e biológicos. A Economia Circular procura responder os desafios relacionados a recursos para organizações e países, podendo, assim, gerar crescimento, propor criação de empregos e, consequente, reduzir os impactos ambientais, incluindo as emissões de carbono (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

A atenção dada a este tema de estudo é crescente, visto que esses fatores geram benefícios para grandes empresas, e abrem oportunidades para pequenas e médias empresas (PME) e negócios sociais. Contudo, estas oportunidades também envolvem alguns riscos, como as complexidades e incertezas na implementação desses processos, o fornecimento de produtos já utilizados (remanufaturados) e a previsão dessas demandas (Lechner & Reimann, 2019). Desse modo, pode-se entender que a circularidade, ao adotar a perspectividade de

atuação em forma cíclica, mediante o engajamento de todos os elos da cadeia produtiva, incentiva o reuso, a reciclagem, a logística reversa, a longevidade, a ecoeficiência, os níveis de circularidade, etc. (Corona et al., 2019).

Para este estudo, utilizou-se a definição de Economia Circular como a alternativa capaz de promulgar a dissociação da atividade econômica do consumo ilimitado de recursos finitos (Cwiklicki & Wojnarowska, 2020); zelar pelo uso de energias renováveis nos processos produtivos, e eliminar a geração dos resíduos no sistema, atuando na causa-raiz da geração desses resíduos, além de promulgar a durabilidade, a longevidade e a extensão do ciclo de vida de materiais e produtos e a regeneração dos materiais via ciclos técnicos e ciclos biológicos (EMF, 2013).

3.2.2 A Indústria 4.0

A Indústria 4.0 ainda não encontrou uma definição mundialmente aceita, contudo, pode ser definida como um conjunto de tecnologias, que combina inteligência artificial (IA), sensores inteligentes, Big Data, computação em nuvem, considerado como a base da infraestrutura de uma rede inteligente (Rajput & Sing, 2020). As Indústrias de manufatura, ao aderirem às tecnologias da Indústria 4.0, esperam soluções transformacionais e promissoras (Díaz-Chao et al., 2021), com mudanças dentro da infraestrutura de rede inteligente, usando recursos de rede de forma altamente distribuída (Ma et al., 2020).

Dentre essas tecnologias, destaca-se a inteligência artificial, a qual envolve um conjunto de tecnologias, englobando machine learning e processamento de linguagem natural, que habilitam as máquinas a sentir, compreender, atuar e aprender (Ma et al., 2021). A inteligência artificial constitui um arcabouço com potencial de transformação da relação existente entre as pessoas e as tecnologias (Wamba et al., 2021), gerando implicações na criatividade e competência dos seres humanos. Essas tecnologias possuem, ainda, potencial de disrupção e produtividade, com capacidade de aprimorar, com velocidade e precisão, a engenhosidade e genialidade humana (Kristoffersen et al., 2020).

A I4.0 pode reduzir gastos não só com energia, mas também na utilização de equipamentos e recursos humanos. Como, por exemplo, tecnologias baseadas em sensores podem ajudar as pequenas e médias empresas a monitorar a utilização de seu maquinário, demandas de energia e treinamento de pessoal. Sendo que uma análise de diferentes tecnologias da Indústria 4.0, utilizando dispositivos de IoT podem gerar resultados de melhoria da sustentabilidade de operações de manufatura (Kumar et al.,2020).

Sendo assim, para a Indústria 4.0, neste estudo, adotou-se o conceito como sendo um conjunto de tecnologias, com capacidade de conectar o mundo físico, digital e biológico (Bag et al., 2021; Rosa et al., 2019). Nesse sentido, essas tecnologias englobam artefatos, como a inteligência artificial, a robótica, Big Data, manufatura aditiva, IoT, biologia sintética e sistemas cyber físicos (Gravilla & Ancillo, 2021; Wang et al., 2020); impactam na produtividade, na redução de custos, no controle sobre o processo produtivo, na customização da produção, na transformação profunda das plantas fabris (Díaz-Chao et al., 2021); e envolvem ganhos de eficiência, redução de custos de manutenção de máquinas e consumo de energia (Shayganmehr et al., 2020).

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

As tecnologias digitais, por sua vez, são compreendidas como um suporte elementar na transição para a economia circular, especialmente, porque possuem o poder de prover alternativas para virtualização de processos, desmaterialização, transparência nos processos e inteligência gerada nos mecanismos de retroalimentação (Rajput & Sing, 2020). Nesse contexto, foi definiu-se uma lista de propostas de solução, aportadas pela Indústria 4.0 para a implementação da Economia Circular e a atividade da circularidade nas cadeias de produção, conforme segue:

a) Integração de componentes onipresentes e inteligentes nas cadeias de suprimentos: a Indústria 4.0 provê um conjunto de elementos, que contribuem para a redução de custos nas cadeias de produção e permitem aferir resultados em termos de sensoriamento remoto, rastreabilidade, monitoramento em tempo real e controle de resultados e não conformidades. Nesse sentido, a principal contribuição da I4.0, para o avanço da EC, consiste em associar a promoção de estímulos a sistemas de produção mais limpos, a sistemas produtivos éticos, à transparência nos processos, à precisão, exatidão e eficiência no controle de processos. Além disso, permite gerar dados sobre o volume de recursos usados, e dispositivos com etiquetas de RFID podem auxiliar na gestão da logística reversa dos materiais obsoletos, para possível desmaterialização e conversão em novos recursos úteis para novos ciclos econômicos da produção. Desse modo, a I4.0 pode, também, ser considerada um alicerce da EC, expandindo a circularidade de recursos dentro dos sistemas de produção e consumo, tornados detentores de níveis de circularidade macro, meso, micro e nano (Rajput & Sing, 2020).

b) Digitalização: a transformação digital incorporou, aos processos industriais de manufatura alternativas orientadas ao gerenciamento de dados, inteligência artificial, redes e

sistemas de resiliência em manufatura. Isso demonstra que a digitalização 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. Sobretudo, a digitalização contribui para a geração de auto adaptabilidade, confiabilidade, flexibilidade com inserção de pressupostos de alta qualidade, baixo custo, faça você mesmo e personalização nos processos produtivos (Rajput & Sing, 2020).

c) Smart factory: são estruturas que contribuem, sobremaneira, para a redução dos desperdícios, dando suporte à eficiência dos sistemas operacionais e de processamento. Essas estruturas, ainda, permitem a autoconfiguração desses sistemas operacionais e a adoção de estratégias de sistemas de manufatura integrada. O resultado disso gera, como contribuição para a EC, o fechamento dos ciclos e a possibilidade de criação de articulação entre os stakeholders da cadeia de produção, para geração de sinergias e resultados ganha-ganha (Lu & Xu, 2019).

d) Deep learning: o uso de um conjunto de algoritmos para modelagem de atrações é uma perspectiva inovadora para alavancar a EC. Sua utilidade está associada à compreensão do comportamento do cliente quando é utilizado em sites de e-commerce. O uso desses algoritmos permite a coleta de dados do cliente durante todo o período em que ele está conectado a um Localizador Uniforme de Recursos (URL). Esses dados gerados com o uso do deep learning são utilizados para otimização do site, a fim de tornar a experiência de navegação mais envolvente para o cliente. Nesse sentido, o reconhecimento facial pode ser útil à EC para conectar stakeholders relevantes e produzir sinergias em cadeias de suprimentos integradas. Outrossim, pode proporcionar, ainda, um suporte técnico personalizado em sites que disseminam as premissas da EC e, assim, a assistência técnica remota ao cliente passa a ser prestada pela máquina. Além disso, permite, também, a emissão de diagnósticos de imagem de alta precisão, essencial para monitorar indicadores de circularidade de recursos (Lieder et al., 2020; Akanbi et al., 2020).

e) Machine learning: o aprendizado de máquina, em que 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 constituem bases gigantescas (Lieder et al., 2020).

f) Big Data: permite que os dados sejam virtualizados para poderem ser armazenados de maneira mais eficiente e econômica, o que ocorre via opção de armazenagem na nuvem. Além da eficiência, o Big Data também auxilia na melhoria da velocidade e confiabilidade da

rede, removendo outras limitações físicas, associadas ao gerenciamento de dados em abundância (Rajput & Sing, 2020; Bag & Pretorius, 2020).

g) Artificial Neural Networks: as redes neurais computacionais que reconhecem padrões podem ser úteis na rastreabilidade dos produtos disponibilizados ao mercado. essas redes são essenciais para criação de banco de dados, contendo informações sobre disposição final de produtos, pontos estratégicos para coleta de materiais obsoletos, e sobre regiões estratégicas para instalação de associações que gerenciam os resíduos (Akanbi et al., 2020).

h) Sistemas Fuzzy: permitem traduzir em termos matemáticos a informação imprecisa, expressa por um conjunto de regras linguísticas e, como resultado, cria-se um sistema de inferência, baseado em regras. Esse ferramental matemático pode ser usado na EC para a tomada de decisão ágil, bem como na realização de controles, classificação, previsão de séries, mineração de dados, planejamento e otimização. Associados a outros sistemas inteligentes, tais como redes neurais e programação evolutiva, propiciam a criação de sistemas híbridos, cuja capacidade de aprendizado amplia o campo de aplicações dos sistemas fuzzy (Khan & Haleem, 2020; Kumar et al, 2020; Khandelwal & Barua, 2020).

i) Convolutional Neural Networks: consiste em uma classe de rede neural artificial do tipo feed-forward. Sua aplicabilidade está voltada para o processamento e a análise de imagens digitais. As redes neurais convolucionais podem ser utilizadas na EC para captar uma imagem de entrada, atribuir importância (peso e vieses, que podem ser aprendidos), aspectos /características/peculiaridades do objeto, permitindo a diferenciando dos objetos entre si. Por exemplo, possibilita identificar se um objeto foi fabricado utilizando matéria-prima de reuso de um objeto que usa materiais virgens (Akanbi et al., 2020).

j) Automação: surge como uma possibilidade para desenvolvimento de práticas comerciais éticas e de implementação da EC, de forma eficaz. Pode ser utilizada para fins preditivos ou para análises cognitivas (Rajput & Sing, 2020).

Desse modo, a Indústria 4.0 contribui para o aprimoramento da competitividade das Indústrias de manufatura, e apoia na interação máquina-máquina e homem-máquina. A Indústria 4.0 é orientada por dados em tempo real (Rajput & Singh, 2020), fornecem abordagens alternativas para alcançar produção e consumo sustentáveis, que minimizam os desperdícios, reduzem o consumo de energia e deterioração ambiental (Yadav et al., 2020). A ideia da Indústria 4.0 é onipresente e é uma das principais estratégias de direcionamento para abordar os 3 Rs (reduzir, reutilizar e reciclar), visando alcançar produção e consumo sustentáveis.

As tecnologias que suportam a Indústria 4.0 são: os sistemas ciberfísicos (CPS), a Internet das Coisas (IoT), o Big Data e a computação em nuvem; e são essenciais para a EC, visto que corroboram para uma produção mais limpa, um lead time reduzido e um estoque otimizado (Manavalan & Jayakrishna, 2019). Portanto, estas são tecnologias que possuem potencial para melhorar a eficiência das cadeias de produção, a precisão dos sistemas produtivos, e impactar positivamente os indicadores de circularidade de recursos.

Por fim, a I4.0 influencia, também positivamente, ao oferecer mecanismos para o atendimento de uma demanda dinâmica e volátil de mercado; promovendo um modo inovador de explorar os desafios e as limitações subjacentes da economia linear; oferecendo mecanismos que contribuem para implementar os conceitos de restauração e regeneração nas organizações; assim como, rastreando os componentes utilizados na manufatura alimentada por insumos da desmaterialização, promovida pela EC. Sendo assim, é um sistema elementar para gerar um sistema de produção mais limpa, alicerçado nos preceitos da EC.

3.3 Metodologia

Este estudo foi elaborado em duas etapas: na primeira, foi elaborada uma revisão sistemática de literatura, capaz de permitir a compreensão das dimensões de análise da Indústria 4.0 e da Economia Circular e suas interfaces; na segunda, foi efetuada a validação empírica no contexto organizacional das foodtechs.

A realização dessa revisão sistemática de literatura compreendeu a busca de revisões sistemáticas de literatura anteriormente publicadas nas bases de dados Scopus e Web of Science, consideradas as maiores e com maior amplitude de cobertura dos *journals* da área de administração. Os termos de busca adotados foram: "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". A busca foi realizada no dia 17 de janeiro de 2021, sendo encontrados 263 papers, dos quais, extraídos os duplicados e aplicados os critérios de inclusão (área: business management and accounting, type of paper: article, research paper and review, language: english, portuguese ou spanish), restaram 68 para serem analisados na íntegra. Todavia, buscando-se encontrar o texto completo, com todas as seções, chegou-se a somente 52 artigos. Isso ocorreu porque alguns ainda estavam publicados como resumo expandido e ahead of print, sem acesso ao paper na íntegra. Nesse sentido, mesmo contactando os autores, não foi possível acesso à íntegra do paper em tempo hábil para finalizar este estudo.

Após a leitura atenta de cada um dos 52 artigos, foram criadas categorias de análise, a fim de sistematizar as principais evidências dos estudos anteriores, publicados no campo da Economia Circular e Indústria 4.0. Para essa fase, seguiu-se o protocolo de pesquisa proposto por Hoon (2013). Ressalta-se que, embora esse protocolo tenha sido elaborado para sintetizar estudos de casos qualitativos, para este estudo, fez uma adaptação que permitisse sistematizar as principais evidências de revisões sistemáticas de literatura, publicadas anteriormente.

Apresentam-se, portanto, os oito passos propostos por Hoon (2013) para sintetizar achados de estudos qualitativos e construir teoria, relacionando-as com as questões deste estudo:

1) Definição da questão de pesquisa: para este estudo, apresenta-se como questão de pesquisa: Como as organizações estão adotando e implementando as tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 e a integração com a Economia Circular para minimizar os efeitos da escassez de recursos em situações de emergência?
2) Localização de pesquisas relevantes: Consulta à base de dados Scopus, maior, mais abrangente e mais relevante na comunidade científica de administração e negócios; e WoS, segunda maior da área.
3) Critérios de Inclusão/exclusão: termos de busca "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" e publicados em *journals*.
4) Extração e codificação de dados: dados de perfil, evidências que permitem compreender como o fenômeno social, objeto de estudo deste paper, ocorre.
5) Análise em um nível de caso-específico: principais aspectos acerca dos elementos da Indústria 4.0, fundamentais para a implantação da Economia Circular, investigados em estudos anteriores.
6) SínTese em um nível de caso-específico: realização da categorização temática e saturação teórica para identificação das categorias relevantes para este estudo, adotando-se, posteriormente, a análise cruzada (cross-analysis) das evidências mapeadas.
7) Construção de teoria a partir de Meta-SínTese: foram sintetizadas variáveis em torno de diversos aspectos alusivos aos elementos da Indústria 4.0, alinhados com a Economia Circular. A partir desse diagnóstico geral, várias proposições, em forma

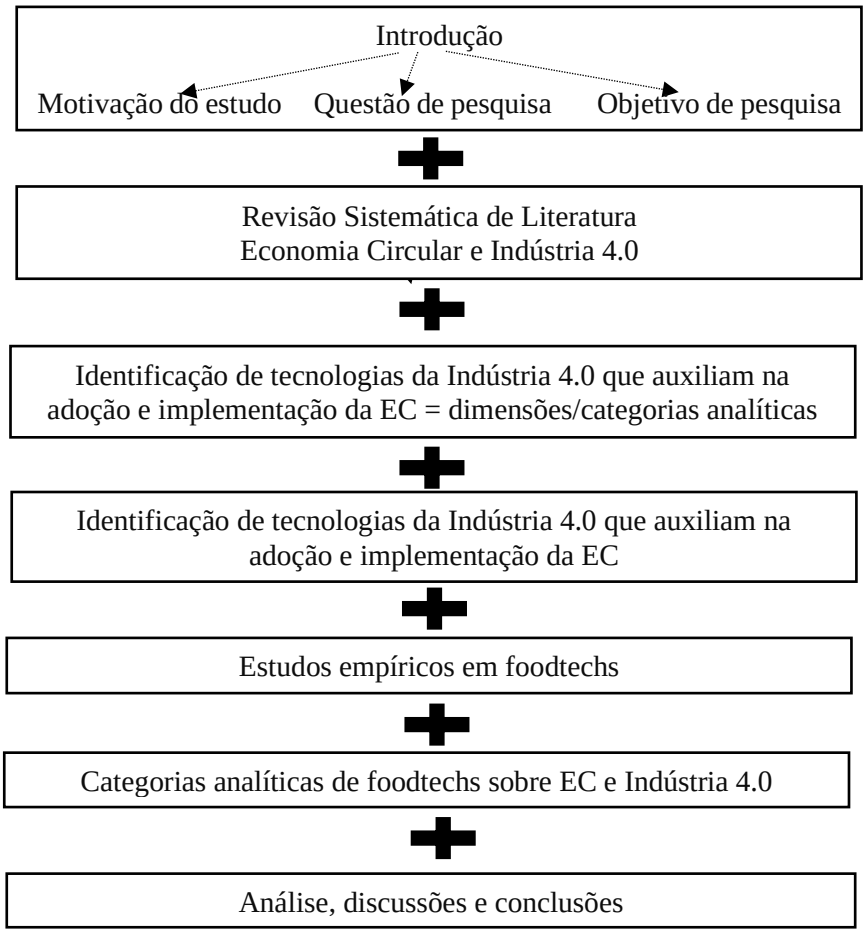
de agenda empresarial e setorial, foram efetuadas para contribuir como potenciais avanços do tema, e foram validadas em um contexto de startups brasileiras.

8) Discussão: foi realizada uma reflexão crítica sobre das contribuições da Indústria 4.0 e da Economia Circular para um contexto de emergência global, despertando possibilidades para o cumprimento dos objetivos do desenvolvimento sustentável e da agenda empresarial 2050.

Em um segundo momento, foi realizado um estudo teórico-empírico no setor de foodtechs brasileiras, que foram acessadas via Startup Scanner, plataforma digital reconhecida como ferramenta da Liga Ventures com o apoio estratégico da PwC Brasil. Nessa plataforma, é possível acompanhar o mapa de startups brasileiras com soluções para as áreas de foodtechs, de forma dinâmica e com atualização constante. Todas as foodtechs dos segmentos de cadeia agropecuária, farm to table, reaproveitamento e gestão de resíduos e descarte, foram acessadas para esta pesquisa, num total de 45 empresas pesquisadas.

De posse dos dados, foi efetuada a análise qualitativa, seguindo as fases analíticas de compilação, decomposição, recomposição, rearranjo, interpretação e conclusão, conforme recomenda Yin (2016). O processo de codificação dos dados foi feito com uso de planilha Excel, onde cada caso/foodtech se transformou em uma linha de dados, o que permitiu a realização de uma análise inter-casos transversais. Na Figura 3.1, apresenta-se o design da pesquisa seguido neste estudo.

Figura 3.1 - Fluxograma do estudo

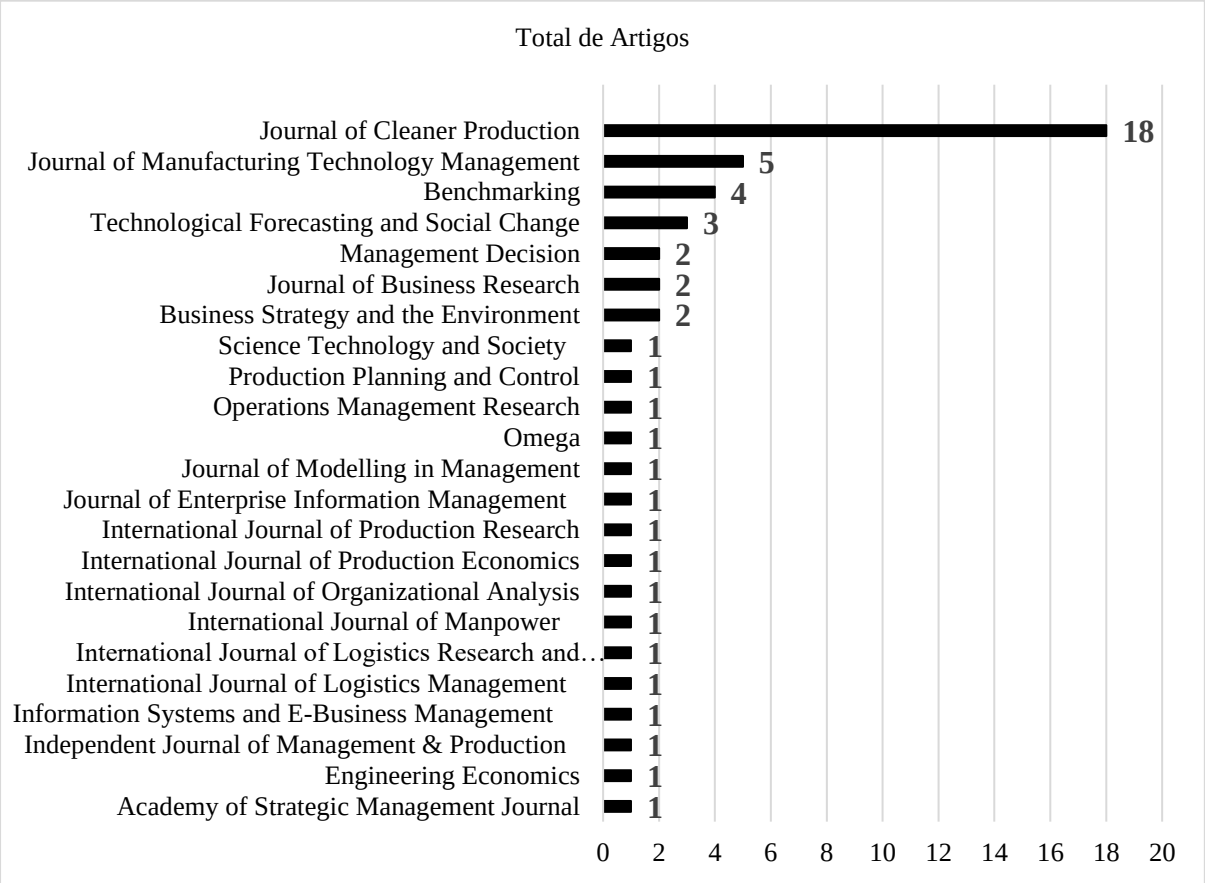


Resumindo, ressalta-se que o interesse do estudo é identificar as tecnologias da Indústria 4.0 que suportam a adoção e implantação da EC. Assim, pautando-se nesses dados sistematizados, foi desenvolvida uma agenda empresarial e setorial, com potenciais avenidas para o avanço da EC e da Indústria 4.0 no segmento de startups, em especial no nicho das foodtechs.

3.4 Apresentação e análise dos dados

A seguir, na Figura 3.2, apresenta-se um perfil resumido dos artigos que foram analisados.

Figura 3.2 - Periódicos onde foram publicados os estudos analisados



É notório, observando a Figura 3.2, o destaque dos periódicos Journal of Cleaner Production, Journal of Manufacturing Technology, Benchmarking e Technological Forecasting and Social Change, responsáveis por 57,69% dos papers analisados neste estudo. Ao se olhar para o ano de publicação desses escritos, é perceptível que se está falando de um tema emergente. Dos 52 artigos analisados, 19 foram publicados no ano de 2021, 24 artigos foram publicados no ano de 2020, e 9, no ano de 2019.

A análise categorial, realizada na sequência do estudo, permitiu encontrar as seguintes macro-categorias de classificação das tecnologias da Indústria 4.0, que suportam a adoção e implantação da economia circular:

- Alugar ou pagar para usar
- Digital enablers and e-receipt
- Compartilhamento
- Software como serviço
- Distribuição multicanal
- Soluções digitais: por exemplo, contador de visitas, aléxia etc.
- Negócios éticos

- Exatidão, precisão e eficiência

- Tecnologias vestíveis

- Customização em massa, com tecnologia: personalização dos produtos e serviços para o cliente final

- Nanotecnologia

- Interação entre biológico, físico e tecnológico

- Digitalização e IoT: para aumentar a produtividade dos processos produtivos, para realizar a conexão próxima aos clientes

- Rastreabilidade: usar a tecnologia para conectar e controlar digitalmente

- Impressão 3D: baixo custo

- Assistentes pessoais: que interpretam a voz

- Machine learning: máquina que aprende com sensores

- Sensores inteligentes: equipamentos com sensores e sistema de detecção das especificidades de um produto, que facilita a sua classificação automática e separação

- Big Data

- Deep learning: uso dos algoritmos para modelagem

- Smart factory: contribui para fechamento dos ciclos

- Integração da inteligência artificial nas cadeias de produção.

Definida essa categorização, foi efetuado um estudo teórico empírico, visando identificar a forma como as foodtechs brasileiras, do segmento de cadeia agropecuária, farm to table, reaproveitamento e gestão de resíduos e descarte, estão adotando e implementando as tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 e a integração com a Economia Circular para minimizar os efeitos da escassez de recursos em situações de emergência. Esse mapeamento permitiu a elaboração da Tabela 3.1, apresentada a seguir.

Por tudo que já se discorreu aqui, é notório que as tecnologias da Indústria 4.0 possuem o papel importante de gerar confiança para os usuários; integram os diferentes elos da cadeia de produção, permitindo uma comunicação ágil e em tempo real; e contribuem, de maneira substancial, para a tomada de decisão ágil e suportada por dados reais. As foodtechs, por sua vez, que utilizam rastreabilidade, conseguem gerar previsibilidade e, desse modo, aumentam a eficiência dos processos produtivos. Uma comunicação eficiente é imutável, destaca FT40. A comunicação eficiente gera sensibilização, conscientização, engajamento e resultados. Portanto, ela é elementar para o sucesso na Economia Circular das organizações.

Os artefatos de Blockchain, capazes de descentralizar a informação, de uniformizar a informação, de integrar dados de toda uma cadeia de produção, por meio da criação de regras

de permissão de acesso, são um mecanismo de identidade digital permissionado (FT40). Isso gera integração de dados, sinergia, construção de relações de confiança. “É como consultar um cartório de imóveis online”, destaca FT40. Portanto, pode ser usado como artefato gerador de confiança. Entretanto, para a obtenção de êxito nesse processo, demanda de caráter dos usuários. As pessoas são a centralidade de todos os processos. A tecnologia é importante, mas são as pessoas que serão as responsáveis pelo seu uso, pela sua gestão e pela adoção responsável e consciente dela. Por fim, a tecnologia dá poder, mas são os serem humanos que precisam dirigi-la.

Nesse aspecto, as relações humanas devem ser conduzidas de forma saudável, consciente, amigável, como geradoras de benefícios para a sociedade. Oportunistas, pessoas doentes e neuróticas podem usar esse conjunto de tecnologias para gerar fraudes, roubos e desvios. São as duas faces da tecnologia. Essa dualidade está associada à forma como as pessoas são educadas, podendo gerar frustrações que, para muitos sujeitos, são difíceis de serem gerenciadas; mas também é responsável pela geração de experiências, de momentos que podem ser únicos e capazes de gerar soluções digitais inéditas. Ou seja, o ser humano está atuando cada vez mais como protagonista de uma história vinculada à quarta revolução industrial, com a integração de homem e máquina em processos revolucionários, eficientes, competitivos, capazes de gerar diferenciais transformadores para as organizações.

No contexto de organizações com propósitos, isto é, organizações que querem fazer a diferença, que querem inovar, atuar por meio de modelos de negócios sustentáveis, ou protagonizar a disrupção de processos, as foodtechs estão liderando iniciativas surpreendentes; estão revolucionando setores e mercados. Essa estratégia gera alternativas únicas, úteis, que proporcionam comodidade, conforto, bem-estar e, ainda, são idealizadas numa lógica suportada por atitudes conscientes, por ideais de longevidade, perenidade dos recursos naturais, otimização e desperdício zero. Isso evidencia o quanto as foodtechs estão alinhadas com os preceitos da Economia Circular e protagonizam uma história revolucionária para a sociedade global. Sobretudo, conseguem reduzir erros, delays, roubos, assaltos, gerando segurança aos usuários. A Tabela 3.1 apresenta as tecnologias da Indústria 4.0 e as práticas de Economia Circular, que foram mapeadas nas foodtechs pesquisadas.

Tabela 3.1 - Tecnologias da Indústria 4.0 e Práticas da Economia Circular mapeadas

Foodtechs	IoT	Plataformas Compartilhadas	Automação	Blockchain	Rastreabilidade	Software como Serviço	Distribuição Multicanal	Big Data Analytics	Artificial Inteligence	Smart Factory	Closed Loop	Parcerias	Deep Learning	Machine Learning	Impressão 3D	Assistentes Pessoais	Digitalização	Interação entre biológico, físico e tecnológico	Nanotecnologia	Customização em massa com tecnologia	Soluções digitais	Precisão e eficiência	Compartilhamento	Alugar ou pagar para usar	Negócios éticos	Marketplace/e-commerce	Compliance	Transparência	Geoprocessamento de imagem	Compras coletivas
FT01					V	V						V					V	V			V							V		
FT02				V	V	V						V					V								V		V	V		
FT03			V			V		V	V			V	V				V	V			V	V					V	V	V	
FT04			V		V	V		V	V	V		V	V			V	V				V	V					V	V	V	
FT05						V			V			V				V	V				V	V		V				V		
FT06		V			V	V	V				V	V									V	V				V				V
FT07			V		V			V				V									V	V								
FT08	V	V			V	V	V					V					V				V	V	V		V	V				
FT09					V	V	V					V					V				V	V				V				
FT10	V	V			V	V						V					V				V	V				V				
FT11					V	V						V					V				V	V				V		V		
FT12		V			V	V	V			V	V	V					V	V	V		V	V	V		V	V	V	V		
FT13		V			V	V					V	V					V	V			V	V			V	V	V	V		
FT14		V			V	V				V		V					V	V			V	V			V	V				
FT15		V			V	V	V					V					V				V	V	V		V	V		V		V
FT16		V			V	V	V			V	V	V					V	V			V	V	V		V	V		V		V
FT17		V			V	V	V					V					V	V			V	V	V		V	V		V		V
FT18		V			V	V	V					V								V	V	V	V		V	V		V		V
FT19		V			V	V	V					V					V	V			V	V	V		V	V		V		V
FT20		V			V	V	V					V					V	V		V	V	V	V		V	V	V	V		V
FT21		V				V	V					V					V	V			V	V			V	V		V		V
FT22		V				V	V					V					V				V	V	V		V	V	V	V		V

FT23		V			V	V	V				V	V					V				V	V	V		V	V		V		V
FT24		V			V	V	V					V					V				V	V	V		V	V		V		V
FT25		V			V	V	V					V					V				V	V	V		V	V				V
FT25		V			V	V	V					V					V				V	V	V		V	V		V		V
FT26		V			V	V	V					V								V	V	V		V	V	V		V		V
FT27		V			V	V	V					V					V				V	V	V		V	V		V		V
FT28		V			V	V	V			V	V	V					V				V	V	V		V	V	V	V		V
FT29		V			V	V				V	V	V					V				V	V			V	V		V		
FT30		V			V	V				V	V	V					V				V	V			V	V		V		
FT31		V				V				V	V	V					V				V	V	V		V	V				
FT32		V			V	V	V				V	V					V				V	V	V		V	V		V		
FT33		V			V	V	V				V	V					V				V	V	V		V	V		V		
FT34	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V							V	V	V		V	V		V		V
FT35		V			V	V	V			V	V	V					V				V	V	V		V	V		V		V
FT36		V			V	V	V			V	V	V					V		V		V	V	V		V	V		V		
FT37	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V				V				V	V	V		V	V		V		
FT38		V			V	V	V				V	V					V				V	V	V		V	V	V	V		V
FT39		V			V	V	V			V	V	V					V				V	V	V		V	V		V		
FT40		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V				V				V	V	V		V	V	V	V		V
FT41	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V				V				V	V	V	V	V	V	V	V		V
FT42		V			V	V	V					V					V				V	V	V		V			V		
FT43	V	V	V		V	V	V	V	V	V	V	V	V				V				V	V	V		V	V		V		
FT44		V			V	V	V					V					V									V				
FT45		V			V	V	V					V					V				V	V	V	V	V	V	V	V		

Uma análise da Tabela 3.1, permite identificar que as tecnologias da Indústria 4.0 são relevantes para o sucesso da Economia Circular. Sobretudo, em todas as foodtechs é notório o papel das parcerias. Não se olha apenas a cadeia produtiva, mas todo o ecossistema e o seu potencial de contribuir para a ressignificação de materiais, a transformação de resíduos em recursos, a retenção de valor, a criação de alternativas inovadoras de produção, a comercialização e gestão dos pós uso dos produtos diversos, elaborados pelas foodtechs.

No que se refere ao contexto de emergência, em vários momentos, as foodtechs fizeram alusão à pandemia Covid-19 e às restrições sociais, impostas por esse cenário. Em outros momentos, foi feita alusão às mudanças climáticas, à necessidade de pensar na produção sustentável, nas alternativas de cumprimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, e na urgência de engajamento em alternativas para produção e consumo circulares e sustentáveis, para a perenidade dos recursos naturais do planeta. Portanto, o contexto de emergência abordado pelas foodtechs está associado a uma necessidade urgente de pensar modelos de negócios diferentes, ousados, alternativos e que contribuam para a gestão inteligente de ativos e bens produtivos. Da produção à embalagem, pensar alternativas conectadas, soluções de embalagens inteligentes, conexão por meio de dispositivos autônomos, conectividade de alcance global, ancorados em uma plataforma que utiliza Big Data e inteligência artificial, menciona FT34. Portanto, se concretiza a transformação de ativos e bens produtivos em artefatos inteligentes e interconectados, como já destacou anteriormente Kristoffersen et al. (2020). Outra solução são embalagens inteligentes e sustentáveis (FT45), com alta capacidade de carga e durabilidade, o que facilita o reuso, aumenta o ciclo do ativo, reduz resíduos e custos e proporciona economia na logística reversa (Gravilla & Ancillo, 2021).

Notável também é o papel importante do Blockchain (Clohessy & Acton, 2019), que adota um papel estratégico de compatibilizar a gestão eficiente e precisa dos resíduos sólidos (Uzoejinwa et al., 2018), de modo que se tornem ativos físicos para novas cadeias de produção e rendam créditos para a Indústria que emitiu o resíduo, seja ele na forma de plásticos, alumínio ou outro material, como destacado por FT40.

Outrossim, sistemas produtivos de integração vertical (FT24), valorização social por meio da produção artesanal (FT20) que fortalece comunidades locais, sistemas de produção orgânicos (FT22, FT23) e agricultura de precisão (FT12), também são contextos organizacionais que aderiram, de maneira sólida, as tecnologias da Indústria 4.0.

Baseado nessa evolução substantiva, promovida pela Indústria 4.0, e nos achados deste estudo, propõe-se uma agenda de pesquisa, relevante para o setor. Nessa agenda, são definidos

elementos estratégicos para a consolidação das tecnologias da Indústria 4.0 para o sucesso da economia circular. Apresenta-se, assim, uma agenda empresarial e setorial:

a) **Fortalecimento das parcerias do ecossistema de atuação da foodtech:** as parcerias entre universidades, governo, sindicatos, associações, bancos, ONGs e entidades de fomento e empresas privadas são imprescindíveis para o êxito da Economia Circular.
b) **Capacitação:** capacitar as pessoas para usarem as tecnologias da Indústria 4.0 também é elementar para o sucesso da Economia Circular.
c) **Democratizar o acesso aos modelos de negócios suportados pela Indústria 4.0:** subsídios do governo federal e acordos de cooperação setoriais podem incentivar e estimular a adesão a tecnologias inovadoras e inteligentes.
d) **Articulação setorial:** incentivar a articulação setorial, capaz de estimular ecossistemas circulares, suportados pelas tecnologias da Indústria 4.0.
e) **Estímulo à Hélice Tripla:** a interação governo, universidade e empresa contribui para a disseminação das tecnologias da Indústria 4.0 e os preceitos da Economia Circular.
f) **Formalização de diretrizes legais setoriais:** traçar metas, prazos e estabelecer responsáveis para a criação do fornecimento circular e fechamento do ciclo das cadeias de produção.
g) **Ativos inteligentes como recursos estratégicos:** internalizar os ativos inteligentes, como recursos capazes de gerar uma diferenciação e uma vantagem competitiva para as empresas.

Essas são apenas algumas importantes oportunidades estratégicas para a promoção de alternativas inovadoras e estratégicas para o sucesso da economia circular, suportada pelas tecnologias da Indústria 4.0.

3.5 Considerações Finais

Neste estudo, procurou-se sistematizar alguns conceitos sobre como as organizações estão adotando e implementando as tecnologias relacionadas à Indústria 4.0, e a integração com a Economia Circular para minimizar os efeitos da escassez de recursos necessários em situações de emergência.

É notório que as abordagens eficientes, geradas por esses recursos tecnológicos, contribuem para otimizar os custos de fabricação, com melhoria na qualidade e menor tempo de espera. Abordagens eficientes são elementares para a melhoria da produtividade, da

precisão, confiabilidade, tomada de decisão, do monitoramento e da flexibilidade. Além disso, as Indústrias de manufatura podem utilizar esses artefatos para a realização do desbloqueio do ciclo fechado de recursos nas cadeias de suprimentos, para a tomada de decisão de gerenciamento de operações sustentáveis. Isso fornece uma perspectiva diferente de EC, pois vai ao encontro das diretrizes de desmaterialização para alcançar produção e consumo sustentáveis, mediante renovação do valor dos recursos usados.

A contribuição prática deste estudo consiste na realização do mapeamento das tecnologias da Indústria 4.0 adotadas pelas foodtechs para o sucesso da Economia Circular. Essas empresas, que nasceram há poucos anos, em sua maioria, já deixam explícita, em suas comunicações de mídia e website, a sinergia que possuem com a Economia Circular. A maioria desses negócios já nasceu suportado pelas premissas dessa economia. Outros, muito embora não sinalizem em seu discurso comunicado pelos diferentes canais de comunicação, possuem evidências claras de alinhamento com os pressupostos da economia circular. As tecnologias baseadas nos princípios da Indústria 4.0 permitem superar os inibidores de EC e podem equilibrar os três pilares da sustentabilidade, tanto na dimensão ambiental, quanto econômica e social.

A contribuição teórica, por sua vez, é a constatação de que as foodtechs são protagonistas da adesão à Economia Circular, viabilizada a partir das tecnologias da Indústria 4.0. Verifica-se, assim, que Indústria 4.0 e Economia Circular geram encadeamento produtivo, ecossistemas produtivos inovadores, ativos inteligentes e muitas novidades para o mercado. É uma evolução, se comparada aos negócios tradicionais, capaz de revolucionar a sociedade, se houver uma disseminação em escala dessas alternativas. Portanto, escalabilidade, lastro e capilaridade são alternativas elementares para a redução de custos de equipamentos e tecnologias, redução do consumo de energia, fornecimento circular e aumento da eficiência no trabalho. Elas, ainda, ativam a Economia Circular mediante criação de sistemas ágeis, precisos, gerando métricas de circularidade e dados para a tomada de decisão homem-máquina, além de ativos inteligentes.

As limitações deste estudo estão associadas à cobertura das informações, que pode não ter sido efetuada de forma plena. Outras tecnologias da Indústria 4.0, que este estudo não conseguiu mapear em tempo hábil, pelos canais e métodos previstos para executar este trabalho, podem estar sendo utilizadas pelas foodtechs. Como oportunidade de estudos futuros, recomenda-se a construção de proposições teóricas a partir deste estudo, para validação em outros contextos organizacionais empíricos. O comparativo entre entrantes iniciais e entrantes

tardios pode gerar um know-how de aprendizado, obtido pelos adotantes das tecnologias da Indústria 4.0 e IA, em um contexto de adoção da EC.

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*, *274*, 122843. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122843.

Alexander, D. (2018). *Natural disasters*. New York: Routledge.

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*. *30*(4), 864-898. https://doi.org/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. *231*, 107844. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107844.

Belanche, D., Casaló, L. V., & Flavián, C. (2019). Artificial Intelligence in FinTech: understanding robo-advisors adoption among customers. *Industrial Management & Data Systems*, *119*(7), 1411-1430.. *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 119, No. 7, pp. 1411-1430. https://doi.org/10.1108/IMDS-08-2018-0368.

Brown, C. (1994). Politics and the environment: Nonlinear instabilities dominate. *American Political Science Review*, *88*(2), 292-303. https://doi.org/10.2307/2944704.

Clohessy, T., & Acton, T. (2019). Investigating the influence of organizational factors on blockchain adoption: An innovation theory perspective. *Industrial Management & Data Systems*, *119*(7), 1457-1491. https://doi.org/10.1108/IMDS-08-2018-0365.

Corona, B., Shen, L., Reike, D., Rosales Carreón, J. & Worrell, E. (2019). Towards sustainable development through the circular economy-A review and critical assessment on current

circularity metrics. *Resources, Conservation and Recycling, 151, 104498.* https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104498.

Cwiklicki, M. & Wojnarowska, M. (2020). Circular Economy and Industry 4.0: One-Way or Two-Way Relationships? *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics. 31*(4), 387-397. https://doi.org/10.5755/j01.ee.31.4.24565.

Díaz-Chao, Á., Ficapal-Cusí, P., & Torrent-Sellens, J. (2020). Environmental assets, industry 4.0 technologies and firm performance in Spain: A dynamic capabilities path to reward sustainability. *Journal of Cleaner Production*, *281*, 125264. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125264.

Ellen MacArthur Foundation (2015). Towards the Circular Economy. Disponível em https://archive.ellenmacarthurfoundation.org – Acesso em 02.02.2021.

Erro-Garcés, A. (2019). Industry 4.0: defining the research agenda. *Benchmarking: an international journal*, *28*(5), 1858-1882. https://doi.org/10.1108/BIJ-12-2018-0444.

Fatimah, Y. A., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. (2020). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, *269*, 122263. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263.

Wamba, S. F., Bawack, R. E., Guthrie, C., Queiroz, M. M., & Carillo, K. D. A. (2021a). Are we preparing for a good AI society? A bibliometric review and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, *164*, 120482. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120482.

Fosso Wamba, S., Queiroz, M. M., Guthrie, C., & Braganza, A. (2021b). Industry experiences of artificial intelligence (AI): Benefits and challenges in operations and supply chain management. *Production planning & control*, *33*(16), 1493-1497. https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1882695.

Gavrila, S. G., & de Lucas Ancillo, A. (2021). Spanish SMEs' digitalization enablers: E-Receipt applications to the offline retail market. *Technological Forecasting and Social Change*, *162*, 120381. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120381.

Hoon, C. (2013). Meta-Synthesis of Qualitative Case Studies. *Organizational Research Methods*, *16*(4), 522–556. https://doi.org/10.1177/1094428113484969.

Houghton, J. T., Jenkins, G J. & Ephraums, J. J. (1990). *Climate change*. United Kingdom: ETDEWEB.

Jabbour, C. J. C., Fiorini, P. D. C., Ndubisi, N. O., Queiroz, M. M., & Piato, É. L. (2020). Digitally-enabled sustainable supply chains in the 21st century: A review and a research agenda. *Science of the total environment*, *725*, 138177. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138177.

Jayakumar, J., K, J., KEK, V., & Hasibuan, S. (2020). Modelling of sharing networks in the circular economy. *Journal of Modelling in Management*, *15*(2), 407-440. https://doi.org/10.1108/JM2-05-2019-0101.

Kearney, A. T. (2018). *Readiness for the Future of Production Report 2018*. Switzerland: World Economic Forum.

Kerin, M., & Pham, D. T. (2019). A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. *Journal of cleaner production*, *237*, 117805. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117805.

Khan, S., & Haleem, A. (2020). Strategies to implement circular economy practices: A fuzzy DEMATEL approach. *Journal of Industrial Integration and Management*, *5*(02), 253-269. https://doi.org/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. https://doi.org/10.1177/0972150920948818.

Kouhizadeh, M., Zhu, Q., & Sarkis, J. (2020). Blockchain and the circular economy: potential tensions and critical reflections from practice. *Production Planning & Control*, *31*(11-12), 950-966. https://doi.org/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. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044.

Kumar, R., Singh, R. K., & Dwivedi, Y. K. (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. *Journal of cleaner production*, *275*, 124063. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063.

Lechner, G., & Reimann, M.(2020). Integrated decision-making in reverse logistics: an optimisation of interacting acquisition, grading and disposition processes. *International Journal of Production Research*, *58*(19), 5786-5805. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1659518.

Lieder, M., Asif, F. M., & Rashid, A. (2020). A choice behavior experiment with circular business models using machine learning and simulation modeling. *Journal of Cleaner Production*, *258*, 120894. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120894.

Lu, Y., & Xu, X. (2019). Cloud-based manufacturing equipment and big data analytics to enable on-demand manufacturing services. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, *57*, 92-102. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.11.006.

Lucarini, V., & Bódai, T. (2017). Edge states in the climate system: exploring global instabilities and critical transitions. *Nonlinearity*, *30*(7), R32. https://doi.org/10.1088/1361-6544/aa6b11.

Ma, S., Zhang, Y., Liu, Y., Yang, H., Lv, J., & Ren, S. (2020). Data-driven sustainable intelligent manufacturing based on demand response for energy-intensive industries. *Journal of Cleaner Production*, *274*, 123155.. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123155.

Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers & industrial engineering*, *127*, 925-953. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030.

Massaro, M., Secinaro, S., Dal Mas, F., Brescia, V., & Calandra, D. (2021). Industry 4.0 and circular economy: An exploratory analysis of academic and practitioners' perspectives. *Business Strategy and the Environment*, *30*(2), 1213-1231. https://doi.org/10.1002/bse.2680.

Queiroz, M. M., Fosso Wamba, S., Machado, M. C., & Telles, R. (2020). Smart production systems drivers for business process management improvement: An integrative framework. *Business Process Management Journal*, *26*(5), 1075-1092. https://doi.org/10.1108/BPMJ-03-2019-0134.

Rajput, S., & Singh, S. P. (2020). Industry 4.0 Model for circular economy and cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, *277*, 123853.. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123853.

Sreedharan V, R., P, A., Persis, J., & KM, S. (2019). Industry 4.0: key findings and analysis from the literature arena. *Benchmarking: An International Journal*, *26*(8), 2514-2542. https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2018-0281.

Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2019). Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2020). Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, *58*(6), 1662-1687. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1680896.

Saadat, S., Rawtani, D., & Hussain, C. M. (2020). Environmental perspective of COVID-19. *Science of the Total environment*, *728*, 138870. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138870.

Sehnem, S., Pereira, S. C. F., Godoi, D., Pereira, L. H., & Junior, S. S. (2021). Food waste management: An analysis from the circular economy perspective. *Environmental Quality Management*, *31*(1), 59-72. https://doi.org/10.1002/tqem.21717.

Shayganmehr, M., Kumar, A., Garza-Reyes, J. A., & Moktadir, M. A. (2020). Industry 4.0 enablers for a cleaner production and circular economy within the context of business ethics: A study in a developing country. *Journal of Cleaner Production*, *281*, 125280. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125280.

Uzoejinwa, B. B., He, X., Wang, S., Abomohra, A. E. F., Hu, Y., & Wang, Q. (2018). Co-pyrolysis of biomass and waste plastics as a thermochemical conversion technology for high-grade biofuel production: Recent progress and future directions elsewhere worldwide. *Energy conversion and management*, *163*, 468-492. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.02.004.

Wang, N., Ren, S., Liu, Y., Yang, M., Wang, J., & Huisingh, D. (2020). An active preventive maintenance approach of complex equipment based on a novel product-service system operation mode. *Journal of Cleaner Production*, *277*, 123365. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123365.

Yadav, G., Luthra, S., Jakhar, S. K., 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*, *254*, 120112. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120112.

Yin, R. K. (2016). *Pesquisa qualitativa do início ao fim.* Porto Alegre: Penso, 2006.

Capítulo 4: Artigo 3 - As Tecnologias da Indústria 4.0 como motivadores para a Economia Circular em Foodtech: uma análise na perspectiva dos Stakeholders

Resumo

Este estudo objetiva analisar as tecnologias da Indústria 4.0 como motivadores para a Economia Circular no setor de Foodtechs via stakeholders mais relevantes. Foi desenvolvido por meio de entrevistas em profundidade conduzidas junto a 9 gestores de foodtechs. Outras fontes de coleta de dados foram utilizadas, a saber: relatórios, apresentações, folders, catálogos de produtos, consultas aos sites das empresas, Instagram, Facebook, LinkedIn e vídeos no Youtube das empresas. Os resultados evidenciam que: (i) as tecnologias da I4.0 são elementares nas práticas adotadas pelas foodtechs; (ii) a EC está sendo internalizada suportada pelas I4.0; (iii) EC é viabilizada mediante engajamento, sinergia e coparticipação dos stakeholders estratégicos e relevantes para as foodtechs; (iv) o fator inovação encontra-se presente na adoção da I4.0, na operacionalização das práticas de EC e na produção de sinergia entre os stakeholders relevantes para as foodtechs; (v) criação de novos mercados também é decorrente da adoção da I4.0, adoção da EC e articulação dos stakeholders no contexto analisado; (vi) virtualizar e regenerar são as estratégias mais fortalecidas no âmbito das foodtechs analisadas; (vii) IoT, big data e integração de componentes onipresentes e inteligentes nas cadeias de suprimentos são os artefatos destaque na viabilização de práticas de EC no âmbito das foodtechs; (viii) foodtechs produtores de alimentos mostraram maior sinergia e articulação de stakeholders para o sucesso da EC suportada pela I4.0. A contribuição do estudo está associada a legitimação das tecnologias da I4.0 como motivadoras para a adoção de EC e engajamento de stakeholders para o sucesso de modelos de negócios circulares.

Palavras-chave: Economia Circular; Indústria 4.0; Startups; Stakeholders.

Artigo apresentado no *XXIV* ENGEMA – Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente
https://engemausp.submissao.com.br/24/anais/resumo.php?cod_trabalho=232
Artigo apresentado no IAMOT 2023
Em revisão no journal Sustainable Development

4.1 Introdução

O planeta está passando por um momento de desafios ambientais, onde ameaças globais de saúde e desastres naturais estão cada vez mais presentes no dia a dia da humanidade, sendo que a mudança climática é um dos maiores obstáculos a serem superados (ONU, 2015). Em apenas 50 anos, o uso de materiais em nosso planeta quase quadruplicou e a geração de resíduos está gerando a aceleração do consumo, visto que mais de 90% do todos os materiais extraídos e usados são desperdiçados (CGR, 2022). Contrapondo a esta realidade, no planeta há comida mais do que suficiente produzida para alimentar toda a população. Contudo, há cerca de 830 milhões de pessoas cronicamente subnutridas (FAO, 2022).

Com base nesta realidade, as organizações estão enfrentando uma escassez de recursos devido as práticas insustentáveis de fabricação dos processos industriais e a utilização de recursos não renováveis, sendo que estas empresas estão objetivando a utilização de iniciativas sustentáveis para diminuir esta escassez. No entanto, a maioria destas organizações não está conseguindo atingir suas metas de sustentabilidade (Bag et al., 2020). O aumento do consumo está diretamente ligado ao crecimento da fabricação de itens (Bag & Pretorius, 2020).

Visando apoiar estes desafios, a Economia Circular (EC), que tem como objetivo principal a manutenção de produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor em todo o ciclo de vida, distinguindo entre ciclos técnicos e biológicos (Ellen MacArthur Foundation, 2015), Sendo assim, a Economia Circular (EC) busca encontrar na Indústria 4.0 (I4.0), as quais são um conjunto de tecnologias, dispositivos e processos com capacidade de operação de forma integrada (Beltrami et al., 2021) gerar uma base de apoio a sua devida utilização nas organizações (Sehnem et al., 2021). Contudo, muitos são os desafios para a implementação da Economia Circular, entre estes estão os altos custos iniciais, complexidade da cadeia de suprimentos, não cooperação entre as empresas, informações incongruentes fabricação dos produtos e altos custos durante o processo (Jaeger & Upadhyay, 2020).

A alimentação está diretamente interligada a existência e a cultura humana, pois precisamos dela para sobreviver. O sistema atual que vivemos tem dado subsistência a uma população em rápido crescimento e acelerado o desenvolvimento econômico e a urbanização. Contudo, os ganhos de produtividade vieram junto com um ônus, sendo que este modelo não é mais adequado para atender necessidades de longo prazo, sendo assim a transição para uma Economia Circular dos alimentos se apresenta como modelo necessário com benefícios econômicos, ambientais e de saúde em toda a cadeia de valor e na sociedade, de uma forma geral (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Com base nesta realidade, muitos Stakeholders, de

diferentes setores, entendem a importância deste desafio e estão se movendo em direção a uma economia mais sustentável (Agrawal et al., 2021).

Este artigo utilizará as startups do setor de Foodtechs, como objeto de estudo. Estas empresas foram fundadas com proposito de fomentar um modelo de negócio ágil e enxuto, com capacidade de gerar valor para seu cliente, via resolução de um problema real, do mundo real, com possibilidade de oferecer uma solução escalável para o mercado. Utilizando, para isto, a tecnologia como sua aliada e ferramenta principal (ABSTARTUPS, 2022). Com base nesta realidade, este estudo tem como objetivo analisar as tecnologias da Indústria 4.0 como motivadores para a Economia Circular, em foodtechs, através dos stakeholders mais relevantes.

As principais contribuições deste estudo se justificam na necessidade de preencher algumas lacunas na literatura existente, tais quais a necessidade de maiores estudos empiricos que correborem com a literatura atual (Ranta et al., 2021; Rosa et al., 2020), buscar uma melhor compreensão de como as tecnologias da I4.0 podem apoiar adequadamente a EC, na percepção dos Stakeholders (Silva & Sehnem, 2022a) e a utilização de proposições teóricas já criadas para validação em outros contextos organizacionais empíricos (Silva & Sehnem, 2022b). Sendo assim, além desta seção introdutória, a próxima seção contempla o referencial teórico, o qual versa sobre os campos teóricos da EC, I4.0 e os Motivadores para Economia Circular suportadas pela Indústria 4.0, a apresentação de definições acerca da Teoria dos Stakeholders e finaliza com a descrição do framework teórico deste estudo. Logo após, a seção de metodologia apresenta o percurso percorrido para conduzir esta pesquisa. Na quarta seção a apresentação, análise e discussão dos resultados da pesquisa. E por fim, as considerações finai deste estudo.

4.2 Referencial teórico

Nesta seção são apresentados, primeiramente os dois constructos teóricos deste estudo. Na primeira subseção a Economia Circular (EC) e depois as tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0). Como também os fatores motivadores para Economia Circular suportadas pela Indústria 4.0. Logo após, é descrita a teoria dos Stakeholders. Por fim, é descrito o framework teórico para desenvolvimento e categorização dos dados levantados.

A EC toma como base dois ciclos, o biológico e o técnico. Os ciclos biológicos objetivam regenerar os ecossistemas, redução do excesso de extração de recursos naturais. Já os ciclos técnicos concentram-se em prolongar a vida útil dos produtos por meio de uma hierarquia de estratégias circulares, incluindo coleta, compartilhamento,

manutenção/prolongamento, reutilização, reforma/remanufatura e reciclagem). Sendo um sistema econômico que se baseia em modelos de negócios que substituem o conceito de fim de vida dos produtos e focam na redução do consumo de recursos e na geração de resíduos, ela tem sido amplamente utilizada nas organizações para transformar suas práticas produtivas mais éticas e sustentáveis (Hettiarachchi et al., 2022).

Há disponivel na literatura diversos modelos de negócios circulares, tais como: A Simbiose Industrial, que é uma a estrutura que se baseia na ecologia industrial para a cooperação entre organizações, compartilhando água, recursos, energia, subprodutos e materiais residuais, projetando 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 (Sehnem, et al., 2019a). O Produto como serviço, o qual oferece uma alternativa ao modelo tradicional "comprar e adquirir", onde os produtos são usados por um ou vários agentes por meio de um contrato de arrendamento ou pagamento por uso por um determinado tempo (Sehnem et al., 2019b). E também as Cadeias de Suprimentos Circulares, que integra a filosofia da Economia Circular na gestão da cadeia de suprimentos, o qual oferece uma perspectiva nova e atraente ao domínio da sustentabilidade da cadeia de suprimentos (Farooque et al., 2019).

Neste estudo, é utilizado o modelo de negócio circular representado pela Estrutura ReSOLVE, criado pela Ellen MacArthur Foundation (2015). Este Framework identificou um conjunto de seis ações tais quais as organizações podem utilizar visando a transição para a economia circular, podendo promover o aumento do uso de ativos físicos, prolongando seu ciclo de vida e também a substituição de recursos finitos por fontes renováveis. Cada uma destas ações reforça e acelera o desempenho das outras. Na Tabela 4.1 é representado estas seis ações.

Tabela 4.1 - Framework ReSOLVE adaptado pelos autores de Ellen MacArthur Foundation (2015)

Ação	**Principais tópicos**
Regenerar ***(Regenerate)***	- transição para energia e materiais renováveis; - regenerar, manter e restaurar a saúde dos ecossistemas; - implementar recursos biológicos recuperados para a biosfera;
Compartilhar ***(Share)***	- compartilhar ativos, como, por exemplo, carros, salas, eletrodomésticos; - usar e reutilizar produtos de segundo uso; - prolongar o tempo de vida dos produtos por intermédio de manutenção, projetos mais duradouros, maior possibilidade de atualização, entre outros;
Otimizar ***(Optimize)***	- aumentar o desempenho dos produtos;

	- remover a utilização de resíduos nos processos produtivos e na cadeia de suprimentos; - promover a utilização de tecnologias da I4.0;
Ciclar ***(Loop)***	- remanufaturar produtos ou matérias primas; - reciclar materiais; - objetivar a utilização de digestão anaeróbica; - expurgar substâncias bioquímicas dos resíduos orgânicos;
Virtualizar ***(Virtualize)***	- desmaterialização direta, como, por exemplo, livros, DVD's, viagens, etc. - desmaterialização indireta, como, por exemplo, compras on-line,
Trocar ***(Exchange)***	- substituição de materiais não renováveis antigos por outros mais atuais; - aplicação de novas tecnologias, como, por exemplo as da I4.0; - opção por novos produtos ou serviços, por exemplo, transportes compartilhados;

O conceito de I4.0, foi primeiramente apresentado na feira de Hannover, Alemanha, em 2011, descreve que as tecnologias digitais estão fundamentadas no computador, softwares e redes (Schwab, 2016). As tecnologias da Indústria 4.0 estão sendo cada vez mais exploradas por acadêmicos, pesquisadores, profissionais e outros interessados relevantes e há grandes expectativas que estas suportem mudanças drásticas nas cadeias produtivas e no setor de serviços (Nascimento et al, 2018). Dentre as tecnologias disponíveis atualmente, utilizaremos como foco deste estudo as previamente levantadas em estudos pregressos sobre o tema da Indústria 4.0 (Silva e Sehnem, 2022a; Silva e Sehnem, 2022b). Estes tecnologias adicionam flexibilidade e adaptabilidade às redes da cadeia de suprimentos (Ivanov et al., 2022).

Estas tecnologias surgem como potenciais habilitares para modelos de negócios circulares e também possuem a capacidade de dar visibilidade de demostrar visibilidade e inteligência aos produtos (Ranta et al., 2021). Tomando como base o arcabouço teórico de estudos pregressos este artigo abrange algumas das possíveis tecnologias da Industria 4.0 para a aplicação na Economia Circular. Na tabela 4.2 são descritas quais são as tecnologias já estudadas, a sua definição e os autores bases para este referencial.

Tabela 4.2 - Principais tecnologias da I4.0 e a sua relação com a EC

Tecnologia	Definição	Relação com a Economia Circular	Autores base
Aprendizado de máquina (*Machine learning*)	Tecnologia computacional que possui a capacidade de aprender de acordo com a resposta gerada com base na associação de diferentes dados, sendo que estes podem ser	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	Lieder et al. (2020)

	imagens, números, mapas, fotografias, entre outros.	preferência dos clientes, principalmente na questão que aborda a redução de emissão de carbono, o que pode apoiar a alavancagem da EC.	
Aprendizagem Profunda (*Deep Learning*)	Técnica que toma como base múltiplas camadas de processamento para aprender representações de dados e a sua devida relação com vários níveis de abstração.	Pode gerar um suporte técnico personalizado em sites que utilizam as premissas da Economia Circular.	Lieder et al. (2020); Akanbi et al. (2020)
Automação	Conjunto de tecnologias que podem utilizar sensores, RFID, entre outros.	Pode minimizar o consumo de energia elétrica utilizada nos maquinários produtivos.	Rajput & Sing (2020).
Big Data	Sistema que gera dados, os formata e os reduz, gerando um padrão oculto destas informações.	Possibilita que os dados sejam virtualizados e que possam ser armazenados da maneira eficiente e econômica, sendo que pode apoiar a EC na obtenção de uma produção mais limpa.	Rajput & Sing (2020); Bag & Pretorius (2020)
Blockchain	Livros digitais que possuem registros e transações criptografados, podendo operar de forma independente, sem a necessidade de comunicação com outras partes, para confirmar as transações. Se tornou popular devido a sua utilização nas criptomoedas, como o Bitcoin.	A sua possivel utilização pode alavancar resultados de programas de circularidade.	Kouhizadeh et al. (2020); Ma et al. (2020); Zhu et al. (2022)
Integração de componentes onipresentes e inteligentes nas cadeias de suprimentos	Conjunto de técnicas que auxiliam a redução de custos na cadeia de suprimentos e permitem verificar resultados através de sensoriamento remoto, rastreabilidade e análise de resultados.	Podem promover a utilização de sistemas de produção mais limpos e sistemas produtivos éticos, permitindo gerar dados através de etiquetas de RFID, auxiliando assim a gestão da logística reversa dos materiais obsoletos.	Rajput & Sing (2020).
Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT)*	Tecnologia que utiliza combinações de dispositivos para gerar dados, enviá-los para outros dispositivos e depois enviá-los para a nuvem.	A sua utilização pode estender o ciclo de vida do produto ou até mesmo na utilização desta tecnologia para digitalização das práticas de EC, através de ambientes industriais. inteligentes.	Rosa et al. (2019); Bag et al. (2021); Rajput & Sing (2020)
Manufatura aditiva	Tecnologia, também conhecida como Impressão 3D, que permite a produção de	Pode objetivar o aumento do ciclo de vida de produtos.	Rosa et al. (2019); Tavares et al. (2020).

	determinados intens por intermédio da disposição camada por camada de determonado material, de forma contínua ou incremental remanufatura de produtos ou componentes.		
Manufatura inteligente	Estruturas que contribuem para a redução dos desperdícios e gera suporte a eficiência dos sistemas operacionais e de processamento.	Tecnologia que objetiva o aumento na qualidade do produto, segurança e sustentabilidade. Estas ações contribuem para o desenvolvimento da EC.	Sharma et al. (2020).
Redes neurais computacionais	Redes que entendem padrões na rastreabilidade de produtos, os quais disponibilizados ao mercado.	Reconhecem padrões, objetivando a pesquisa da circularidade dos materiais no projeto e execução.	Akanbi et al. (2020)
Sistemas Fuzzy Dematel	Sistemas que permitem traduzir em termos matemáticos a informação imprecisa expressa por um conjunto de regras linguísticas.	É possivel utilizar na EC para apoio na tomada de decisão para adoção de estratégias de realização de controles, classificação e previsão de séries.	Khan & Haleem, (2020); Kumar et al. (2020); Khandelwal & Barua (2020);

4.2.1 Teoria dos stakeholders

Os Stakeholder são qualquer grupo ou indivíduo que podem afetar ou ser afetado, pelo alcance dos propósitos de uma organização (Freeman, 1984). Estas partes interessadas são as que possuem, ou reivindicam propriedade, direitos ou interesses em uma organização (Clarkson,1995). Esta teoria surgiu com o objetivo de entender e resolver três problemas: Como o valor é criado e negociado? Como conectar ética e capitalismo? Como os gerentes devem pensar a cerca de gestão objetivando que os dois primeiros tópicos sejam resolvidos (Freeman, 1984).

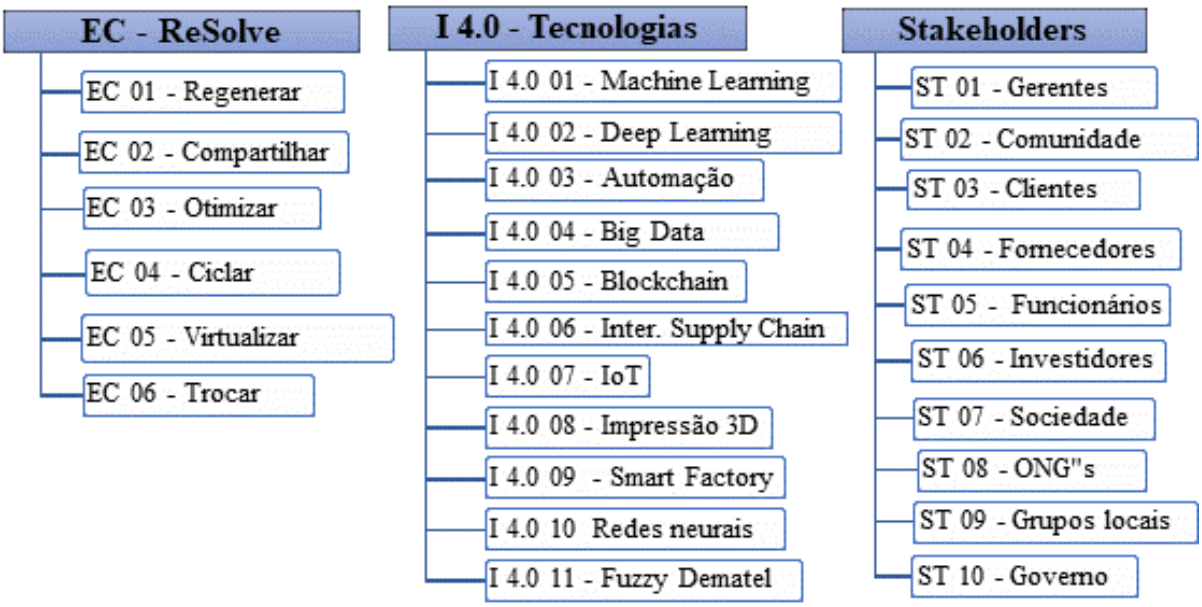
A teoria dos stakeholders descreve que existem relacionamentos interconectados entre uma organização e vários outros agentes, a saber, gerentes, comunidade local, clientes, fornecedores, funcionários, investidores e sociedade civil, os quais afetam ou podem ser afetados pelas atividades organizacionais, descrevendo que uma empresa deve considerar o valor e as necessidades de um conjunto mais amplo de stakeholders, não apenas acionistas (Freeman, 2001). A pressão das partes interessadas pode motivar as organizações a adotarem certas práticas de sustentabilidade ambiental, sendo que a cadeia de suprimentos envolve também diversos atores que podem afetar a decisão de uma empresa de implementar uma nova tecnologia, incluindo também outras pressões externas, tais quais de organizações não

governamentais (ONGs) ambientais, grupos de bairro ou até mesmo o governo (Zhu et al., 2022).

Esta teoria se tornou popular, tanto para acadêmicos, como também para executivos das organizações (Mitchell et al., 1997) e busca entender, dentro de sua unidade de análise as relações entre uma organização e os grupos ou indivíduos envolvidos, como clientes, fornecedores, acionais, bancos, comunidade, gestores, entre outros, podem interagir para criar e comercializar valor. Nesta teoria, a principal função dos gestores é administrar estas relações objetivando gerar o máximo de valor possivel para todas as partes interessadas e gerenciar a distribuição deste valor (Freeman et al., 2010).

Suportada pela Teoria dos Stakeholders, com base no Framework ReSolve de negócios circulares, sendo motivados pelas tecnologias da Indústria 4.0, surge o framework teórico proposto neste estudo, conforme Figura 4.1. Nesta figura são descritas as categorias de análise de estudo. As suas denominações serão descritas mais reduzidas e também com algumas na língua inglesa, pois são mais usuais na literatura pesquisada.

Figura 4.1 - Framework teórico do estudo



Tendo descrito nesta seção os dois campos teóricos deste estudo (EC e I4.0) somado a teoria dos Stakeholders, na próxima seção são apresentados os procedimentos metodológicos. Os codinomes adotados para classificação tipológica dos constructos EC, I4.0 e Stakeholders ilustrados nesta Figura 4.1, são usados para estruturação das Tabelas 4.3, 4.4 e 4.5.

4.3 Procedimentos Metodológicos

Após embasamento sobre os dois campos teóricos (EC e I4,0), as suas interpelações e também sobre a teoria base deste estudo, a dos Stakeholders, é apresentado o percurso metodológico e o objeto de estudo. A originalidade deste estudo toma como base as lacunas teóricas já levantadas previamente nos artigos de Silva & Sehnem (2022a) e Silva & Sehnem (2022b), onde foi verificado que há temas de pesquisas ainda não abordadas através de estudo que busque entender como as tecnologias da Indústria 4.0 podem motivar a Economia Circular, sob a visão dos Stakeholders, em startups do setor de Foodtechs brasileiras.

Contudo, podem ser enumerados alguns estudos que possuem escopo similar, a saber: Fatores motivadores para o desenvolvimento econômico da China via Indústria 4.0 e Economia Circular: inovação tecnológica ou mudança estrutural (Zhou et al., 2020); A manufatura sustentável inteligente orientada por dados com base na resposta da demanda para Indústrias de uso intensivo de energia (Ma et al., 2020); Blockchain e a economia circular: tensões potenciais e reflexões críticas da prática. (Kouhizadeh et al., 2020), Modelo da Indústria 4.0 para Economia Circular e Produção Mais Limpa (Rajput & Singh, 2020), Avaliando as relações entre Economia Circular e Indústria 4.0: uma revisão sistemática da literatura (Rosa et al., 2019) e A Economia Circular inteligente: uma estrutura de estratégias circulares habilitada digitalmente para empresas de manufatura (Kristoffersen et al., 2020).

Com base na técnica de estudo de caso múltiplos e efetuando a comparação cruzada, surgem aas proposições teóricas deste estudo.

Proposição 1: As startups Foodtechs pesquisadas estão inseridas no contexto da Economia Circular.

Proposição 2: As tecnologias da Indústria 4.0 podem ser uma base de apoio para a Economia Circular, em startups do setor de Foodtechs.

Proposição 3: Os stakeholders são atores participantes no processo da EC, em startups do setor de Foodtechs.

Este estudo se caracteriza como um pesquisa exploratória qualitativa, com base em estudos de casos múltiplos, devido ao possível inedismo do tema que emergem dos princípios conceituais, sendo que estes guiam a análise de resultados. Deixamos claro, neste estudo, que os resultados de nossa pesquisa não devem ser generalizados e também que estes não podem substituir pesquisas quantitativas conclusivas, com testes robustos de hipóTeses e validação de escalas. Este estudo se baseia em premissas metodológicas as quais já foram utilizadas em estudos anteriores por Sehnem et al. (2019a), Sehnem et al. (2019b) e Sehnem et al. (2021).

Como técnica principal de coleta de dados foram utilizadas as entrevistas em profundidade, sendo realizadas via reuniões on-line no Google Meet e também presencialmente, com uso de um roteiro de entrevista divididos em cinco blocos, a saber (i) perguntas gerais de perfil, (ii) EC, (iii) I4.0, (iv) Stakeholder e (v) comentários finais. Como técnicas de apoio é utilizada a análise de documental, a qual é estável, pois pode ser revista quantas vezes seja necessária pelos pesquisadores (Yin, 2010), como relatórios, apresentações, folders e catálogos de produtos. E, como terceira fonte de pesquisa, os dados secundários, como consultas aos sites das empresas, Instagram, Facebook, LinkedIn e vídeos no Youtube das empresas.

Com posse nos dados levantados a partir da realização de entrevistas, as quais reunidas despenderam cerca de 15 horas de gravações e totalizaram mais de 200 páginas de transcrição. Somadas a análise documental e dados secundários, é efetuada a análise qualitativa, com base nas fases analíticas de compilação, decomposição, recomposição, rearranjo, interpretação e conclusão descritas por Yin (2010). A categorização da análise deste estudo é efetuada utilizando as subcategorias do framework ReSOLVE, as tecnologias da Indústria 4.0 e os Stakeholders envolvidos no processo. Os dados são descritos em de tabelas sínTese. A constatação de utilização das práticas é descrita com (**V)** quando a característica foi evidenciada, com isto, é possivel efetuar uma análise cruzada nas categorias.

4.3.1 Objeto de pesquisa: As foodtechs

As startups estão associadas a um período de vida de uma empresa, onde nesta etapa ela busca desenvolver um produto ou serviço inovador, de base tecnológica, que possa ser um negócio com facilidade de ser replicado e escalado, sem aumento proporcional dos seus custos. Outro fator de uma startup é o ambiente de incerteza no qual ela está inserida. Dentre as suas principais características estão: a inovação, pois se diferencia do produtos ou serviço oferecido ao mercado, a escalabilidade, pois precisa atingir um número de usuários a custos relativamente baixos, a repetibilidade, pois deve ser possível replicar ou reproduzir seu produto, sem necessitar do crescimento na mesma proporção de recursos humanos ou financeiros e a flexibilidade e rapidez, pois deve ser capaz de atender e se adaptar rapidamente as demandas do mercado, geralmente, com estruturas enxutas e equipes formadas por poucas pessoas. O ecossistema brasileiro conta, atualmente, com 22.320 empresas, distribuidor em 784 cidades (ABSTARTUPS, 2022)..

A pesquisa pelas empresas foi efetuada no site Startup Scanner (https://startupscanner.com), o qual é uma ferramenta que permite aos usuários monitorar

constantemente startups de diversos setores e participar ativamente da construção dos mapeamentos. Esta ferramenta, realizada pela Liga Ventures e com o apoio estratégico da PwC Brasil, permite monitorar startups de diversos setores e participar ativamente da construção dos mapeamentos. E considerada a maior base startups do Brasil. O setor de pesquisa é o de foodtechs brasileiras. O levantamento dos dados foi realizado entre os meses de agosto e setembro de 2022. A amostra do estudo é composta por nove startups, Conforme Eisehardt (1989) não há um número correto para a garantia de que um estudo de caso tenha sucesso. Neste estudo, serão analisadas nove diferentes startups, apresentadas através de siglas, para preservar a sigilosidade destas organizações. Sendo estas identificadas por AP, PF, NU, RU, OM, MN, SL, MS e EM.

Tendo apresentado nesta seção a metodologia deste estudo e o setor estudado, na proxima seção é apresentado os resultados deste estudo.

4.4 Apresentação e análise dos resultados

Primeiramente nesta seção são apresentados os resultados obtidos com a pesquisa nas nove foodtechs. É apresentada a categorização por constructo da pesquisa, a EC por meio do modelo de negócios ReSOLVE, as tecnologias da Indústria 4.0 que foram identificadas como possíveis apoiadoras para a Economia Circular e, por fim, a identificação dos principais stakeholders deste processo.

4.4.1 Apresentação dos Resultados

Nesta sub seção apresentaremos os resultados do estudo, no formato de tabelas por categorias de análise. São identificadas as ações do modelo de negócios ReSOLVE, as tecnologias da I4.0 e os stakeholders, A Tabela 4.3 apresenta as seis tipologias de economia circular, através do modelo de negócios ReSOLVE mapeadas nas foodtechs pesquisadas.

Tabela 4.3 - Identificação de ações da estrutura ReSOLVE nas foodtechs estudadas

	Economia Circular – Framework ReSOLVE					
Foodtechs	**EC 01 Regenerar**	**EC 02 Compartilhar**	**EC 03 Otimizar**	**EC 04 Ciclar**	**EC 05 Virtualizar**	**EC 06 Trocar**
AP	V	V	V	V	V	V
PF	V				V	
NU	V		V	V	V	V
RU	V		V	V	V	
OM		V			V	V
MN	V		V			
SL	V	V	V	V	V	V

MS		V			V	
EN	V	V	V	V	V	V

Na tabela 4.3 identificamos que em todas as empresas pesquisadas, há ações que remetem a categorização da estrutura ReSOLVE. Com destaque as foodtechs AP, SL e EN nas quais todas as ações foram identificadas. Já a tabela 4 apresenta a identificação das possíveis tecnologias da I4.0 nas Foodtechs estudadas, para apoio na EC.

Tabela 4.4 - Identificação das possíveis tecnologias da I4.0 nas foodtechs estudadas, para apoio a EC

Foodtechs	**Tecnologias da Indústria 4.0**										
	I4.0 01	**I4.0 02**	**I4.0 03**	**I4.0 04**	**I4.0 05**	**I4.0 06**	**I4.0 07**	**I4.0 08**	**I4.0 09**	**I4.0 10**	**I4.0 11**
AP				V			V				
PF	V	V	V	V	V	V	V				
NU						V	V				
RU		V	V			V	V				
OM				V			V		V		
MN						V	V				
SL				V		V					
MS	V		V	V			V				
EN			V				V				

Destacamos, com base nos achados descritos na Tabela 4.4, que todas as foodtechs pesquisadas consideram alguma tecnologia da I4.0 como possivel fator apoiador para a EC. Destacamos que a o Big Data, (5 citações), a Integração de componentes onipresentes e inteligentes nas cadeias de suprimentos (5 citações) e principalmente a Internet das Coisas (8 citações) foram as quais tiveram maior relevância. Contudo, as tecnologias da Impressão 3D, as Redes Neurais e os sistemas Fuzzy Dematel as com menor relevância (sem citações). A Tabela 4.5 apresenta a identificação dos stakeholders, com base na categorização deste estudo.

Tabela 4.5 - Identificação dos principais stakeholders nas foodtechs

	Principais Stakeholders									
Foodtechs	**ST 01**	**ST 02**	**ST 03**	**ST 04**	**ST 05**	**ST 06**	**ST 07**	**ST 08**	**ST 09**	**ST 10**
AP	V	V	V			V		V	V	V
PF	V		V		V					
NU	V		V	V	V	V	V			
RU	V		V	V		V				
OM	V		V	V						

MN	V	V	V	V	V	V	V		V	
SL	V		V	V						V
MS	V		V							
EN	V				V					

Na tabela 4.5 identificamos que as partes interessadas mais citadas foram os gerentes, visto que neste estudo consideramos os entrevistados como parte principal desta categoria. Os clientes, com 8 citações, os fornecedores com 5 citações e os investidores com 4 citações são outros stakeholders relevantes. Já as demais categorias de análise não obtiveram relevância, com número baixo de citações.

Identificamos que as principais citações nos remeteram a aspectos da Economia Circular e também a questões sustentáveis destes atores. A questão da necessidade de apoio de outras partes, como governo e investidores, apesar de não ter sido identificados por grade parte da amostra, se torna presente nestas citações. Sendo apresentado os resultados da pesquisa, na proxima subseção são descritas as discussões dos resultados.

4.4.2 Discussão dos Resultados

Nesta subseção, as três proposições deste estudo apresentadas anteriormente são discutidas em conjunto com os resultados de pesquisa relevantes selecionados. Primeiramente, ressaltamos que todas as foodtechs pesquisadas são empresas com datas de fundação recentes, a com maior tempo de vida foi fundada em 2014. Na grande maioria, são empresas com estruturas enxutas, onde os sócios e proprietários atuam em todas as frentes dentro das organizações, efetuando, em alguns casos, múltiplas funções, desde técnicas e comerciais.

a) A Proposição 1 (As foodtechs pesquisadas estão inseridas no contexto da Economia Circular) é validada visto que, apesar da Economia Circular ainda ser um campo teórico pouco explorado na literatura e prática (Ranta, et al., 2021; Rosa et al., 2020) todas as foodtechs pesquisadas já possuem alguma ação que relacione este tema. Muito embora práticas isoladas não reflitam o mainstream da economia circular, ela deve fazer parte do mainstream, do pensamento estratégico e dos modelos de negócios adotados pelas foodtechs. Todos os entrevistados possuem o conhecimento empírico deste conceito, o que poderia remeter na possibilidade de novas pesquisas nestas empresas, com perspectiva de maior abrangência nas perguntas. Cadeia de suprimentos circulares, também é citado por grande parte dos

entrevistados, o que sinaliza o entendimento da necessidade de encadeamento, sinergia, cooperação entre os distintos stakeholders para viabilização de práticas de economia circular.

Esta validação se embasa, prioritariamente, na constatação que em todas as foodtechs o conceito de Economia Circular já está presente, tanto em algumas práticas, como já citado, como também no perfeito conhecimento de seus modelos de negócios. Quanto ao Framework ReSOLVE (Ellen MacArthur Foundation, 2015), todas as dimensões foram amplamente identificadas. Na ação de Regenerar, a Foodtech EN destaca o uso de embalagens biodegradáveis e o uso da biodiversidade nos seus produtos. Já a Foodtech MN descreve que "A gente entende que a diversificação de matérias primas é importante para sustentabilidade ambiental". Fica clara a intensão da empresa AP na citação "Eu percebi que quando a gente trabalha com produto vegano... não tinha esse uso intenso de produtos químicos para a própria higienização da fábrica. É como se a gente tivesse lavando louça só. Não fica resíduo." A empresa NU foi bem enfática nas suas ações: "Esse lado da regeneração, a gente tem projetos para fazer o primeiro queijo carbono neutro do Brasil... o nosso é com produtor local, ingredientes naturais, carbono neutro, a gente tem um monte de vantagens". Já no Compartilhar, a própria empresa OM é um grande exemplo, pois seu negócio é um "Coworking de cozinhas".

Nas ações de Otimizar, a Foodtech SL é uma provedora de serviços de soluções de produtos com base na Economia Circular, como destaca a entrevistada "Nossas soluções são totalmente a base de plantas e a gente pesquisa o melhor tipo de embalagem e o melhor tipo de processo... a gente tenta incrementar nesse processo ao longo da cadeia o máximo possível de sustentabilidade e saudabilidade nos produtos...o aproveitamento integral dos alimentos, principalmente de subprodutos da Indústria que às vezes a Indústria nem sabe que tem estes rejeitos". A quarta ação, e de Ciclar, encontramos alternativas na citação "Eu vejo o agricultor efetuando a economia circular, devolvendo o que é do solo para o solo: você deixou palhada, você tá devolvendo nitrogênio, tá devolvendo carbono, tá devolvendo cálcio, magnésio, potássio. Então isto é muito sustentável também." (Foodtech PF).

Na quinta ação, a de Virtualizar foi destaca principalmente pela Foodtech PF, como citado pelo entrevistado "Muitos de nossos processos são virtualizados, a gente hoje tem um escritório físico mas a gente nem precisaria, porque como a gente trabalha com software, a gente conseguiria tocar uma empresa cem por cento on-line." E por fim, na sexta ação, a de Trocar, podemos destacar as ações da Foodtech RU, na citação "O óleo do urucum mesmo hoje a gente está pegando esse óleo que é resíduo da Indústria de corante. Então a gente vem

trabalhando com esses produtos de forma a sempre agregar valor principalmente com alguns resíduos são até resíduos da Indústria.”.

b) Sobre a Proposição 2 (As tecnologias da Indústria 4.0 podem ser uma base de apoio para a Economia Circular, em foodtechs detectamos que em algumas empresas estas tecnologias ainda estão em fase embrionária de uso, como ressaltado pelas foodtechs MN e EN “ainda estamos na I2.0”. Contudo, os conceitos apresentados no referencial teórico deste estudo são de pleno conhecimento dos entrevistados. Neste prisma, a Foodtech PF foi enfática em afirmar que as tecnologias da I4.0 ajudam a implementar uma nova cultura junto ao produtor agrícola, onde o resultado econômico é importante, mas a sustentabilidade ambiental deve vir junto. Com base nos achados descritos abaixo, esta proposição pode ser validada.

Com boa parte das citações dos entrevistados o Big Data é uma tecnologia que pode apoiar a EC, como descrito “O uso do Big Data com certeza me ajuda. Facilita muito o meu trabalho no dia a dia. (Foodtech AP) e pela Foodtech RU e pela RU “O Big Data nós utilizamos para pesquisa, pois são diversas as pesquisas da dos ativos que nós trabalhamos e precisamos disto para entender dosagem daquele ativo.” Afirmações estas possibilitam que os dados sejam virtualizados e armazenados da maneira eficiente e econômica (Rajput & Sing, 2020); Bag & Pretorius, 2020) A Integração de Integração de componentes onipresentes e inteligentes nas cadeias de suprimentos foi outra tecnologia bastante citada (PF, NU, RU, MN e SL) onde descrevem a importância da utilização de QR codes, Códigos de barras e RFID nos processos logísticos, para minimização das perdas. Afirmativas estas que contribuem com o descrito pelos autores Rajput & Sing (2020).

A principal tecnologia levantada no estudo, foi a Internet das Coisas, principalmente no que tange o uso de aplicativos para telefones celulares, como citado pela NU “Nossa ideia é ter um aplicativo o para produtor local. Ter um pouco de informação e desenvolver o produtor local pra esse assunto de regeneração e a gente começar a estimular a nossa compra através de um aplicativo que baliza indicadores de regeneração. Indicadores de sustentabilidade” e também descrito pela Foodtech OM “A IoT é uma coisa que seria muito interessante, talvez ajudasse bastante, eu preciso desenvolver um equipamento que olha a temperatura das geladeiras quando eu estava fora. Medir temperatura corrente de energia elétrica. Porque muita energia elétrica é perdida nos cabos aí e o calor.” Estas citações e corroboram com a descrito pelos autores Rosa et al. (2019); Bag et al.(2021); Rajput & Sing (2020).

Como já descrito, as tecnologias da Impressão 3D, as Redes Neurais e os sistemas Fuzzy Dematel não foram identificadas, apesar de serem conhecidas por alguns dos entrevistados. Muita destes não utilizações vai pelo alto valor agregados de utilização destas

tecnologias, como descrito pela grande parte dos entrevistados. Mesmo sendo aparado por um arcabouço teórico sobre estas tecnologias, novas possíveis sugestões de tecnologias empíricas surgiram, as quais não contemplamos neste estudo, tais quais a computação na nuvem e a necessidade da Internet 5G, principalmente para os produtores fora da grandes centros urbanos (AP, NU e MN).

c) Em relação a Proposição 3 (Os stakeholders são atores participantes no processo da EC, em startups, primeiramente identificamos que entre as empresas estudados, elas entre si atuam como stakeholders da cadeia produtiva de alimentação. Um exemplo é que, aletoriamente, duas empresas do mesmo grupo de produtores de alimentos, a NU e MN serão parceiras em um novo produto, mesmo sendo de regiões diferentes do Brasil.

Um ponto a se destacar, é que todos os entrevistados foram os sócios proprietários das foodtechs, demonstrando assim o que os gerentes são stakeholders importantes. Um ponto importante deste papel é apresentado na citação "Apesar da pegada sustentável, a gente precisava de algo que primeiro que resolvesse o problema de fato, para dar vantagem ao cliente" (Foodtech MS). Esta citação nos leva a primeiro problema que a teoria dos stakeholder busca resolver: Como o valor é criado e negociado? (Freeman, et al., 2010).

A importância dos clientes na Economia Circular é evidenciada na citação da Foodtech PF "Hoje a gente atua com grandes grupos de cliente que tem esta visão da circularidade. Do setor de grão e fibra, floresta, de superenergético, etc." e na citação "No caso do urucum, eles, os clientes, vão ter que certificar nossa planta, eles vão ter que tá toda com as documentações em dia e aí eles vão vir, vão certificar, fazer certificação deles."(Foodtech RU). Esta mesma foodtech cita que" a preocupação dos clientes com questões relacionadas a saúde e bem-estar tem crescido nos últimos anos e demandam da Indústria soluções de produtos que estejam alinhados a questões como segurança, transparência e eficácia" o que nos remete a questão da utilização das Tecnologias da I4.0.

Os fornecedores se apresentam como um importante elo para as foodtechs pesquisadas. Foi possivel identificar esta afirmação na citação A gente tem muita dificuldade com insumos.... não conseguimos comprar do produtor rural diretamente ...você tem um atravessador, você tem aí problemas de custo, problema de logística, um problema de qualidade porque esse empreendedor queria comprar direto do produtor."(Foodtech OM). Já os investidores, apesar de serem citados por apenas 4 empresas, são considerados stakeholders relevantes, conforme apresentado nas citações "os fundos estão investindo na gente " (Foodtech NU) "Tem investidores procurando a gente, isso é um grande aval" (Foodtech MN) É

importante ressaltar que novos stakeholders foram citados pelos entrevistados, como os franqueadores, certificadores, universidades, incubadoras, consultorias e cooperativas. Todas estas interpelações é o que a teoria dos stakeholders busca entender: relações entre uma organização e os grupos ou indivíduos envolvidos (Freeman et al., 2010). Sendo assim, a proposição 3 é validada.

Esses achados nos mostram que, apesar de se estarem em fase inicial de utilização por foodtechs, as tecnologias da Industria 4.0 são fatores motivadores para a economia circular, através dos principais stakeholders. Esta afirmação tem como base a validação das três proposições deste estudo. A seguir apresentaremos as implicações gerenciais deste estudo.

4.4.3 Implicações gerenciais

As implicações gerenciais deste estudo, as quais podem apoiar gestores em futuras tomadas de decisão são:

a) apesar das dificuldades descritas por grande parte dos entrevistados, é possivel praticar a Economia Circular como um fator de sucesso nas organizações, mas isto deve ser perceptível pelo mercado (clientes e investidores);

b) as tecnologias da I4.0 não são de baixo investimento para aplicação. Contudo, podem alavancar resultados financeiros a médio e longo prazo;

c) com base nos exemplos práticos das empresas participantes deste estudo, a prática da economia circular, com a sinergia dos principais stakeholders, com apoio das tecnologias emergentes da I4.0, tendem a gerar diferenciais competitivos que, consequentemente, resultam em lucros maiores, trabalhando assim em nichos específicos de mercados.

d) a relação com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) pode ser mais amplamente utilizada pelas startups, mesmo que algumas das empresas deste estudo já utilizem estas metas em seus planejamentos estratégicos (NU e EN) a um campo com mais oportunidades. Entre os ODS, pode-se destacar o 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável, o 3 Saúde e Bem-Estar, o 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura, 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis ,o 12 - Consumo e Produção Responsáveis e o 15 - Vida Terrestre (ONU, 2022).

4.4.4 Lições aprendidas

O estudo apresenta algumas lições aprendidas relevantes a serem citadas:

Lição 1: Apesar das foodtechs ainda serem empresas pequenas (na amostra pesquisada a menor possuía 6 colaboradores e a maior 38), são totalmente inovadoras e atentas a novos conhecimentos e tecnologias. Como também a sustentabilidade econômica é importante para a

subsistência das foodtechs, mas foi evidenciado que a sustentabilidade social e ambiental está no mesmo patamar.

Lição 2: O senso de propósito e latente nestas organizações. Estas afirmações ficam clarividente na citação “uma empresa que está dando resultado então você sai um pouco daquele abstrato pra ir pra prática, sem sonhar, você não consegue inovar. dessa teoria e também sem sonho, sem propósito não faz muito sentido” (Foodtech MN).

Lição 3: As foodtechs são micro e pequenas empresas e sinalizam a sua potencialidade, alinhamento com as premissas da sustentabilidade e representatividade na geração de empregos, arrecadação, movimento econômico para os municípios onde estão instaladas. Representam o potencial de nascerem como empreendimento adotantes de modelos de negócios circulares, suportados por tecnologias da I4.0 e com expertise suficiente para articular os stakeholders em prol de resultados capazes de gerar uma transformação na sociedade, uma ressignificação de condutas e práticas mais inclusivas, conscientes, ecológicas e circulares.

Lição 4: Apesar de não ser o foco deste estudo, ressaltamos dois pontos considerados importantes para os pesquisadores: (i) a qualificação dos empreendedores das foodtechs é de, no mínimo, graduação, o que demostra que o conhecimento teórico pode gerar resultados práticos relevantes e (ii) a maioria das entrevistas foi com mulheres, as quais, ressaltamos que são as sócias diretores de seus respectivos negócios. Estas informações estão descritas na tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Formação e gênero dos entrevistados

Foodtechs	**Formação**	**Gênero**
AP	Bacharel em Administração de Empresas, com especialização em desenvolvimento de produtos orgânicos	Feminino
PF	Engenharia agrônoma, com mestrado em ciências	Masculino
NU	Engenharia de produção, com especialização em gestão empresarial	Feminino
RU	Engenheiro de manufatura	Masculino
OM	Bacharel em Desenho Industrial, com especialização em gestão de projetos	Masculino
MN	Bacharel em Comunicação e Publicidade e bacharel e Administração, com especialização em Gestão de Negócios em Comércio e Vendas	Feminino
SL	Bacharel em Engenharia Química, com especialização em desenvolvimento de novos produtos alimentícios, ciências e tecnologia de alimentos	Feminino
MS	Engenharia de Produção, com especialização em Engenharia da Qualidade e Mestrado em Engenharia de Produção	Masculino

EN	Bacharel em turismo, com especialização em Marketing e mestrado em comunicação	Feminino

A Tabela 4.6 evidencia uma diversidade de formações acadêmicas dos entrevistados. Isso sinaliza que a graduação cursada não é um elemento que permite traçar um padrão dos gestores. Existem sim características empreendedoras, perfil do sujeito, desejo de criar, prosperar e crescer, propensão a correr riscos que são aspectos identificados como presentes nos sujeitos pesquisados. São esses aspectos que caracterizam os proprietários das foodtechs como empreendedores natos.

4.5 Considerações Finais

Este estudo procurou examinar as tecnologias da Indústria 4.0 como motivadores para a Economia Circular, em foodtechs, por meio dos stakeholders mais relevantes. As foodtechs pesquisadas estão inseridas no contexto da EC e as tecnologias da Industria 4.0 possuem grande importância neste cenário, como também o engajamento dos stakeholders foi identificado como relevante.

Além da validação das proposições, este estudo também pode ser resumido por duas citações de uma das empresas pesquisadas “A Economia Circular é um caminho sem volta. Este modelo de consumo de jogar tudo fora não se sustenta. O mundo moderno criou facilidades, mas criou muitos problemas. A tecnologia evoluiu muito rápido, e os processos para recuperar esses resíduos também evoluiu” e “Estamos completamente alinhados com a Economia Circular, pois ninguém faz isto sozinho. Mas esta transição demora, ela ainda é cara no Brasil (Foodtech RU).

A contribuição prática, além das contribuições gerenciais já citadas, é a validação dos três constructos de pesquisa do contexto das foodtechs. Este setor do mercado, apesar de já estar com os conceitos da Economia Circular bem utilizados nos seus processos, ainda há um vasto campo de implementação, tendo a sua principal via as tecnologias da Industria 4.0. A identificação também das principais partes interessadas neste processo é uma contribuição relevante para estas organizações. Outra contribuição é a ênfase dada pelo estudo nas tecnologias da I4.0, podendo sugerir uma agenda futura de implementação destas nas foodtechs.

A principal contribuição teórica deste estudo é interseção entre dois constructos e uma teoria já fundamentada aplicado no contexto de empresas brasileiras, o qual ainda necessita de maior profundidade. Como também contibuir com um estudo empirico que correborem com a

literatura atual. A utilização de proposições teóricas já criadas para validação em outros contextos organizacionais empíricos. Além do possivel ineditismo deste estudo.

A contribuição social deste estudo é a pretensão de trazer a luz das pesquisas, mesmo que de maneira embrionária, a possibilidade de pequenas empresas, no caso deste estudo, as foodtechs, a de utilização de tecnologias da Indústria 4.0 para a maximização da Economia Circular. Mesmo sendo estas tecnologias, em alguns casos, de alto investimento para o porte destas organizações. A conscientização que mesmo que seja um investimento alto, pode trazer resultados significativos no futuro, tanto no econômico, como ambiental.

Como sugestões de estudos futuros, primeiramente é a possibilidade da e análise sobre o prisma do gerenciamento da cadeia de suprimentos circulares (Farooque, et al. 2019), visto que os principais stakeholders citados são gerentes, fornecedores, clientes e investidores, verificando as principais tecnologias da Industria 4.0 enumeradas anteriormente. Já uma segunda sugestão seria focar em somente um nicho de mercado de foodtechs, como, por exemplo, produtores de alimentos. A terceira sugestão é efetuar estudo similar, utilizando a Teoria dos Stakeholders, sob o enfoque engajamento das partes interessadas (Greenwood, 2007). Outra sugestão é de efetuar um estudo que utilize outras abordagens de pesquisa, tais quais, observação participante ou até mesmo o método quantitativo. E, por fim, a sugestão de utilizar os ODS (Nações Unidas Brasil, 2022) como plano de fundo em uma pesquisa similar.

As limitações do estudo estão associadas primeiramente ao objeto de pesquisa em somente um setor, visto que os resultados não podem ser generalizados. Outra limitação é que, apesar deste estudo ser suportado por uma teoria já consolida na academia, os dois constructos (EC e I4.0) ainda carecem de maiores estudos empíricos. E por fim, o viés dos pesquisadores na pesquisa qualitativa, o que tenderia a ser minimizada em um estudo quantitativo.

Referências

Agrawal, R., Wankhede, V. A., Kumar, A., Upadhyay, A., & Garza-Reyes, J. A. (2022). Nexus of circular economy and sustainable business performance in the era of digitalization. *International Journal of Productivity and Performance Management*, *71*(3), 748-774.https://doi.org/10.1108/IJPPM-12-2020-0676.

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*, *274*, 122843. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122843.

Associação Brasileira de Startups (2022) Disponivel em https://www.abstartups.com.br/. Acesso em 09.08.2022.

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*. *30*(4), 864-898. https://doi.org/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. *231*, 107844. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107844.

Beltrami, M., Orzes, G., Sarkis, J., & Sartor, M. (2021). Industry 4.0 and sustainability: Towards conceptualization and theory. *Journal of Cleaner Production*, *312*, 127733. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127733.

Circularity Gap Report, (2022); 5th anniversary; Circle Economy. Disponivel para acesso em https://www.circularity-gap.world/.

Clarkson, M. B. E. (1995). A stakeholder framework for analyzing and evaluating Corporate.

Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of management review*, *14*(4), 532-550. https://doi.org/10.5465/amr.1989.4308385

Ellen MacArthur Foundation (2015). Towards the Circular Economy. Disponível em https://archive.ellenmacarthurfoundation.org – Acesso em 08.08.2022.

Ellen MacArthur Foundation (2019). Cities and circular economy for food. Disponível em https://archive.ellenmacarthurfoundation.org - Acesso em 08.08.2022.

FAO - Food and Agriculture Organizations. (2022). Disponível em https://www.fao.org/home/en/ - Acesso em 13.08.22.

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. https://doi.org/10.1108/scm-10-2018-0345.

Farooque, M., Zhang, A., Thürer, M., Qu, T., & Huisingh, D. (2019). Circular supply chain management: A definition and structured literature review. *Journal of cleaner production*, *228*, 882-900. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.303.

Freeman, E. R.; Harrison, j. S.; Wicks, a. C.; Parmar, b. L. & Colle, S. (2010). Stakeholder theory: the state of the art. New York: Cambridge Press.

Freeman, R. E. (1984). Strategic management: A stakeholder approach. Boston: Pitman/ Ballinger.

Freeman, R.E., (2001). A stakeholder theory of the modern corporation. Perspect. Bus. Ethics Sie 3 *144*, 38=48.

Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2022). Cloud supply chain: Integrating industry 4.0 and digital platforms in the "Supply Chain-as-a-Service". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *160*, 102676. https://doi.org/0.1016/j.tre.2022.102676.

Jaeger, B., & Upadhyay, A. (2020). Understanding barriers to circular economy: cases from the manufacturing industry. *Journal of Enterprise Information Management*, *33*(4), 729-745. https://doi.org/10.1108/JEIM-02-2019-0047.

Khan, S., & Haleem, A. (2020). Strategies to implement circular economy practices: A fuzzy DEMATEL approach. *Journal of Industrial Integration and Management*, *5*(02), 253-269. https://doi.org/10.1142/s2424862220500050.

Khan, S., & Haleem, A. (2020). Strategies to implement circular economy practices: A fuzzy DEMATEL approach. *Journal of Industrial Integration and Management*, *5*(02), 253-269. https://doi.org/10.1142/s2424862220500050.

Kouhizadeh, M., Zhu, Q., & Sarkis, J. (2020). Blockchain and the circular economy: potential tensions and critical reflections from practice. *Production Planning & Control*, *31*(11-12), 950-966. https://doi.org/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. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044.

Kumar, R., Singh, R. K., & Dwivedi, Y. K. (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. *Journal of cleaner production*, *275*, 124063. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063.

Lieder, M., Asif, F. M., & Rashid, A. (2020). A choice behavior experiment with circular business models using machine learning and simulation modeling. *Journal of Cleaner Production*, *258*, 120894. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120894.

Ma, S., Zhang, Y., Liu, Y., Yang, H., Lv, J., & Ren, S. (2020). Data-driven sustainable intelligent manufacturing based on demand response for energy-intensive industries. *Journal of Cleaner Production*, *274*, 123155.. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123155.

Mitchell, R. K., Agle, B. R., & Wood, D. J. (1997). Toward a theory of stakeholder identification and salience: Defining the principle of who and what really counts. *Academy of management review*, *22*(4), 853-886. https://doi.org/10.5465/amr.1997.9711022105

Nações Unidas Brasil (2022). Disponível em https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em 11.09.2022.

Objetivos De Desenvolvimento Sustentável (2015). Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova Iorque: ONU.

Rajput, S., & Singh, S. P. (2020). Industry 4.0 Model for circular economy and cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, *277*, 123853.. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123853.

Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., & Väisänen, J. M. (2021). Digital technologies catalyzing business model innovation for circular economy—Multiple case study. *Resources, Conservation and Recycling*, *164*, 105155. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105155.

Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2019). Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2020). Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, *58*(6), 1662-1687. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1680896.

Schwab, K. (2016). A quarta revolução Industrial. São Paulo: Edipro. ISBN 978-85-7283-978-5.

Sehnem, S., Jabbour, C. J. C., Pereira, S. C. F., & de Sousa Jabbour, A. B. L. (2019a). Improving sustainable supply chains performance through operational excellence: circular economy approach. *Resources, Conservation and Recycling*, *149*, 236-248.. https://doi.org/ 10.1016/j.resconrec.2019.05.021.

Sehnem, S., Campos, L. M., Julkovski, D. J., & Cazella, C. F. (2019b). Circular business models: level of maturity. *Management Decision*, *57*(4), 1043-1066. https://doi.org/10.1108/MD-07-2018-0844.

Sehnem, S., Ndubisi, N. O., Preschlak, D., Bernardy, R. J., & Santos Junior, S. (2020). Circular economy in the wine chain production: maturity, challenges, and lessons from an emerging economy perspective. *Production Planning & Control*, *31*(11-12), 1014-1034. https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1695914.

Sehnem, S., Provensi, T., Silva, T. H. H., & Pereira, S. C. F. (2021). Disruptive innovation and circularity in sustainable business models: A start-ups analysis. *Business Strategy and Environment. 10*. https://doi.org/10.1002/bse.2955.

Sehnem, 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), 784804. https://doi.org/10.1108/SCM-06-2018-0213.

Sharma, R., Jabbour, C. J. C., & Lopes de Sousa Jabbour, A. B. (2021). Sustainable manufacturing and industry 4.0: what we know and what we don't. *Journal of Enterprise Information Management*, *34*(1), 230-266.. https://doi.org/10.1108/jeim-01-2020-0024.

Silva, T.H.H. & Sehnem, S. (2022a) Industry 4.0 and the Circular Economy: Integration Opportunities Generated by Startups. *Logistics*, *6*, 14. https://doi.org/10.3390/logistics6010014.

Silva, T.H.H. & Sehnem, S. (2022b), da Silva, T. H. H., & Sehnem, S. (2022). The circular economy and Industry 4.0: Synergies and challenges. *Revista de Gestão*, *29*(3), 300-313.. https://doi.org/0.1108/REGE-07-2021-0121.

Tavares, T. M., Godinho Filho, M., & Ganga, G. M. D. (2020). The relationship between additive manufacturing and circular economy: A sistematic review. *Independent Journal of Management & Production*, *11*(5), 1648-1666. https://doi.org/10.14807/ijmp.v11i5.1290.

Yin, R. K. (2010). Estudo de caso: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman.

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*, *271*, 122680. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122680.

Zhu, Q., Bai, C., & Sarkis, J. (2022). Blockchain technology and supply chains: The paradox of the atheoretical research discourse. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *164*, 102824.https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102824.

Apêndice - Roteiro de entrevistas

Bloco 1 – Perguntas gerais:

- Solicitar autorização do entrevistado para realizar a gravação da conversa.
- Apresentação pessoal do pesquisador.
- Agradecimento da disponibilidade do entrevistado.
- Apresentação do projeto e dos objetivos da pesquisa.
- Explicação de que a pesquisa possui caráter acadêmico e será utilizada somente para este fim, indicando que a gravação não será divulgada em nenhum momento.
- Esclarecer que as respostas fornecidas serão analisadas de forma conjunta, não havendo possibilidade de identificação dos respondentes ou das organizações.
- Descreva seu cargo e suas principais funções dentro da empresa.
- Descreva sua formação acadêmica e experiencia profissional.
- De uma forma resumida, explique um pouco sobre a sua empresa (modelo de negócios / propósito, produtos e serviços…).
- Qual a missão, visão e valores da empresa (caso tenha)?

Bloco 2 – Economia Circular

- Na sua percepção, de que forma as práticas da EC adotadas na sua empresa afetam o seu negócio?
- Comente sobre como a empresa engaja os atores importantes da sua cadeia de produção de alimentos para criação de um sistema sustentável, capaz de oferecer um produto ou serviço sustentável aos clientes?
- A empresa já nasceu com os valores semelhantes ao de organizações sustentáveis ou adquiriu no decorrer do tempo?

Quais são as principais dificuldades para atuar com práticas da EC no seu negócio?

Na sua percepção, de que forma as práticas da EC adotadas na sua empresa afetam o seu negócio?

- Quais são as práticas de EC mais relevantes que a sua empresa adota? Como essas práticas são executadas no dia a dia?

- Como você entende a inserção da EC no mercado de produção de alimentos?
- Quais são as práticas de EC mais relevantes que a sua empresa adota? Como essas práticas são executadas no dia a dia?

Exemplos:

- Regenerar (ex.: produtos biodegradáveis, com impacto ambiental positivo, bioembalagens, produtos livre de tóxicos, uso de insumos e energia renovável, descarte adequado e seguro dos resíduos do processo produtivo ou reaproveitamento, redução da emissão de gases poluentes, construção sustentável...);

- Compartilhar (ex.: uso de transporte coletivo, compartilhamento de carros e bicicletas, produto utilizado por mais de um usuário, design do produto projetado para a reutilização, compra conjunta de insumos ou logística de entrega conjunta com outras empresas, empréstimos de equipamentos, utilização de produtos remanufaturados / de segundo uso...);

- Otimizar (ex.: maior desempenho em relação aos concorrentes, produtos e serviços inteligentes, minimização do desperdício no processo produtivo...);

- Ciclar (ex.: produtos feitos com materiais recicláveis, logística reversa, descarte correto de materiais...);

- Virtualizar (ex.: trabalho remoto, lives, reuniões on-line, digitalização de processos, serviços desmaterializados, produto como serviço, e-commerce...);

Em relação à Trocar / Substituir (ex.: desenvolvimento de materiais mais avançados e sustentáveis, troca de tecnologias antigas por novas...);

<u>Bloco 3 – Indústria 4.0</u>

- Em relação a Indústria 4.0 quais são as práticas mais importantes que a sua empresa adota.

- Machine learning;
- Deep learning;
- Automação;
- *Big Data*
- *Blockchain*
- Iintegração de componentes onipresentes e inteligentes nas cadeias de suprimentos
- IoT;
- Impressão 3D
- Smart Factory;
- redes neurais;
- Sistemas Fuzzy Dematel**;**

Bloco 4 - Stakeholders

- Comente quais são os atores mais importantes na sua cadeia de produção? Porque você entende que esses são os mais importantes?

  - Gerentes
  - Comunidade
  - Clientes
  - Fornecedores
  - Funcionários
  - Investidores
  - ONG's
  - Grupos locais
  - Governo

- A empresa fez alguma parceria de cooperação com outros *stakeholders* para iniciar o processo de implantação da economia circular? Se sim, explique como foi esse processo.
- Na sua opinião, que iniciativas você considera que poderiam acelerar a adoção das práticas circulares nas empresas? (Ex.: tecnologias, alteração em leis ambientais, taxação de impostos, etc.);

Bloco 5 – Comentários finais:

- Verificar se a empresa possui documentos, relatórios técnicos, dados sistematizados que sejam relacionados a práticas de sustentabilidade, economia circular, e que seja possível ter acesso a elas
- Há algum outro aspecto relevante que gostaria de mencionar que não foi abordado nas questões anteriores?
- Agradecimentos finais.

Capítulo 5: Artigo 4 - Cadeias de Suprimentos Circulares e Indústria 4.0: Uma Análise das Interfaces em Foodtechs Brasileiras

Resumo

Este estudo teve como objetivo identificar as interfaces entre as tecnologias da Indústria 4.0 e cadeias de suprimentos circulares em foodtechs, através dos principais stakeholders do setor. A pesquisa foi realizada em oito foodtechs brasileiras, por meio de entrevistas e análises de conteúdo. Foram identificadas 16 práticas de cadeia de suprimentos circulares nas foodtechs pesquisadas, da enumeração de três diferentes tecnologias da Indústria 4.0 já praticadas nas foodtechs e da verificação da aderência às questões levantadas pela teoria dos stakeholders. Os resultados indicam que as tecnologias da I4.0 geram eficiência nas CSC de foodtechs, apesar de serem ainda incipientes. O engajamento dos stakeholders gera otimização de CSC de foodtechs no âmbito brasileiro. A circularidade de recursos cria valor para as foodtechs quando é suportada por tecnologias da I4.0 e o engajamento dos stakeholders é determinante para a circularidade de recursos. As contribuições práticas deste estudo incluem a constatação de que é possível o engajamento dos stakeholders em práticas circulares, tanto na cadeia de suprimentos como dentro das organizações. O estudo também destaca a necessidade de apoio do poder público, tanto em questões regulatórias como na isenção de determinados impostos para o investimento em novas tecnologias da I4.0.

Palavras-chaves: Cadeia de Suprimentos Circulares, Tecnologias da Indústria 4.0; Stakeholders; Foodtechs

Artigo aprovado no EnANPAD - 2023
Artigo apresentado no 4th Symposium on Circular Economy and Sustainability - Greece - 2023
Em revisão no journal RAUSP

5.1 Introdução

O modelo econômico atual está destruindo os limites do planeta, deste modo, é fundamental transformar nossa relação com os materiais para maximizar benefícios para as pessoas (Circle Economy, 2023). Para dar apoio a essa transição, é necessário efetuar a integração equilibrada de desempenho econômico, inclusão social e resiliência ambiental, oferecendo benefícios para as gerações atuais e futuras (Geissdoerfer et al., 2017). Somado a isto, o setor agroalimentar é responsável por cerca de um quarto das emissões de gases de efeito estufa no planeta (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

A Economia Circular (EC) e a Indústria 4.0 (I4.0) surgiram como possibilidades para efetuar essas transições cruciais. São dois temas que estão atualmente em discussão entre estudiosos, profissionais e formuladores de políticas (Gupta et al., 2021). Contudo, a revolução digital trouxe muitos desafios e oportunidades para as organizações. Mesmo assim, a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 na Economia Circular ainda é um tema pouco pesquisado (Bag & Pretorius, 2022). Há também uma quantidade limitada de pesquisas que analisam o impacto do uso de tecnologias digitais na Economia Circular em um contexto de cadeia de suprimentos (Khan et al., 2022). Nesse contexto, o aumento da concorrência no nível da cadeia de suprimentos, variações nos padrões de demanda do cliente e pressões dos stakeholders são molas propulsoras para as empresas que estimulam a incorporação de níveis mais elevados de sustentabilidade em suas operações (Mani et al., 2020).

As foodtechs com práticas circulares representam um fenômeno novo no mercado empreendedor. Essa unidade de análise também é pouco explorada na literatura acadêmica. Contudo, esse novo modelo é visto como um ponto importante para o impacto positivo dessas empresas (Rok & Kulik, 2021). As pequenas e médias empresas com iniciativas de Economia Circular conseguem se adaptar melhor para implementar novas tecnologias (Chaudhuri et al., 2022). É nesse contexto que as startups da categoria de alimentos, conhecidas popularmente como foodtechs, estão inseridas. Com base nesse cenário, este estudo utilizará a perspectiva dos principais stakeholders da cadeia de suprimentos de produtores de alimentos. Para tal, utilizamos como suporte basilar a Teoria dos Stakeholders, com foco no interesse dessas partes interessadas.

Sendo assim, este estudo tem como objetivo principal identificar as interfaces entre as tecnologias da Indústria 4.0 e as cadeias de suprimentos circulares em startups por meio dos principais stakeholders do setor. Já os objetivos específicos são: (i) enumerar as práticas circulares nas cadeias de suprimentos; (ii) verificar a aderência das tecnologias da I4.0 nas foodtechs pesquisadas; e (iii) levantar como as foodtechs estão respondendo às questões

levantadas pela teoria dos Stakeholders. Com isso, este estudo busca abrir espaço para investigações críticas sobre essa complexa relação entre esses dois temas ainda embrionários na academia, somando a uma teoria já consolidada.

As startups que adotam tecnologias da Indústria 4.0 em suas cadeias de suprimentos circulares tendem a gerar impactos positivos para o desenvolvimento da sociedade, pois buscam atingir os três eixos do tripé da sustentabilidade (Elkington, 1994). Essas empresas vão além dos resultados econômicos, buscando também resultados ambientais e sociais. Nesse prisma, este estudo se apresenta apropriado, pois buscará o entendimento de como esses dois temas de estudo possuem interfaces, no contexto das foodtechs brasileiras.

A relação entre esses temas de estudo ainda é incipiente e requer pesquisas empíricas mais aprofundadas. Este estudo é original, pois tem como objetivo contribuir para o preenchimento das lacunas teóricas identificadas em estudos anteriores, especialmente no contexto brasileiro de pequenas e médias empresas. Essas lacunas incluem a utilização do Blockchain e Big Data em cadeias de suprimentos circulares, a compreensão de como a I4.0 e a EC podem apoiar os Stakeholders na compreensão desse novo paradigma, bem como a identificação dos fatores que afetam a implementação desses campos teóricos em cadeias de suprimentos (Silva & Sehnem, 2022a; Silva & Sehnem, 2022b).

Sendo assim, o restante deste artigo está organizado além desta seção introdutória. Na seção seguinte, é descrito o referencial teórico. Na terceira seção, é apresentada a descrição da metodologia utilizada. Na quarta seção, é descrita a análise e discussão dos resultados da pesquisa. E, por fim, as considerações finais deste estudo.

5.2 Fundamentação teórica

Nesta seção, são apresentados os dois principais conceitos que compõem este estudo. Inicialmente, será abordado o tema acerca das cadeias de suprimentos circulares e, em seguida, as tecnologias da Indústria 4.0. Posteriormente, são apresentados os conceitos da teoria dos stakeholders, que constitui a base teórica deste estudo. Por fim, será descrito o framework teórico que será utilizado na análise dos dados coletados.

5.2.1 Cadeia de Suprimentos circulares

O conceito de Economia Circular foi criado em resposta aos desafios relacionados ao esgotamento dos recursos naturais e ao aumento dos volumes de resíduos. Ela está associada a um sistema econômico capaz de se regenerar no ciclo de vida de produção e consumo, no qual

os resíduos são utilizados e reaproveitados como matéria-prima no processo produtivo (Kirchherr et al., 2017). Essa prática é essencial para melhorar o desempenho eco ambiental em países em desenvolvimento (Nascimento et al., 2018). A Economia Circular é restaurativa por natureza, com a meta de manter bens, componentes e materiais em seu nível máximo de utilização, promovendo uma troca de paradigma na forma como os materiais e recursos são utilizados (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

A EC está fortemente relacionada à gestão da cadeia de suprimentos, pois as empresas estão construindo negócios sustentáveis dentro de suas redes (Del Giudice et al., 2021). Há um entendimento comum na literatura de que uma cadeia de suprimentos circular é consideravelmente diferente do modelo tradicional, e vários processos precisam ser adicionados a este, como o planejamento de uso dos materiais, a recuperação de recursos, a entrega de produtos de manutenção e a devolução de produtos em fim de uso (Vegter et al., 2020). A cadeia de suprimentos circular pode ser dividida em cinco etapas: projeto e desenvolvimento, produção, entrega, operação e fim de ciclo de vida (Liu et al., 2023). Com isso, muitas das práticas da Economia Circular, como reaproveitamento, remanufatura e reciclagem, apoiam a fechar o ciclo das cadeias de suprimentos circulares (Chen et al., 2023).

A Economia Circular dos alimentos apresenta-se como um modelo com benefícios econômicos, ambientais e de saúde em todos os seus processos, pois, em um processo linear, degrada os recursos naturais dos quais depende e polui o ar, a água e o solo (Ellen MacArthur Foundation, 2019). A transição para um sistema alimentar que constrói capital natural, isto é, que permite que a natureza prospere, é uma etapa essencial da transição para uma Economia Circular (Ellen MacArthur Foundation, 2021).

Para este estudo, será utilizada a tipologia de Khan et al. (2022) para o mapeamento das práticas circulares na cadeia de suprimentos, conforme apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Práticas da Cadeia de Suprimentos Circular, com base na tipologia de Khan et al. (2022)

Prática	Definição
Inovação tecnológica	Inclui as tecnologias da I4.0, como o Blockchain, Big Data e a inteligência artificial, podendo apoiar as empresas a reestruturar seus processos para adotar práticas de Economia Circular
Procurement circular	Busca a cooperação com fornecedores para efetuar compras verdes, as quais não agridem o meio ambiente, com produtos que podem ser reciclados e remanufaturados
Design circular	Tem como objetivo apoiar as empresas a minimizar seus resíduos e facilitar os processos de reciclagem e remanufatura, o que não apenas melhora o desempenho ambiental, mas também aumenta o desempenho econômico das empresas

Performance ambiental	Tem relação com a capacidade das empresas de proteger o meio ambiente, reduzindo o desperdício, o consumo de energia e os resíduos tóxicos, do montante à jusante da cadeia de suprimentos
Performance econômica	Avalia a capacidade na produção dos bens de reduzir os custos de fornecimento de materiais e componentes, processos de reciclagem e remanufatura, descarte de resíduos, uso de energia e água

5.2.2 Indústria 4.0

O conceito de Indústria 4.0 ainda não é universalmente aceito (Beltrami et al., 2021) contudo pode ser descrita como o conjunto de tecnologias, dispositivos e processos, em diversas etapas do processo produtivo, que permitem operações integradas, tomadas de decisões descentralizadas, com a mínima intervenção humana (Castelo-Branco et al., 2019). Essas tecnologias podem incluir a Internet das Coisas (IoT), os Sistemas Ciberfísicos (CPS), robôs autônomos, Manufatura Aditiva (Impressão 3D), inteligência artificial (IA), Big Data, computação na nuvem, Blockchain, robôs autônomos, tecnologias de visualização (realidade virtual e aumentada), entre outras (Culot et al., 2020; Ejsmont et al., 2020; Zhang et al., 2020).

O objetivo da I4.0 é realizar os processos com eficiência e melhoria contínua, integrando informação e comunicação (de Sousa Jabbour et al., 2018). Schwab (2016), no entanto, descreve que a I4.0 não se limita somente a sistemas e máquinas inteligentes e conectados, sendo seu escopo maior, onde novas descobertas ocorrem simultaneamente em diferentes áreas, que vão desde o sequenciamento genético até a nanotecnologia, passando pelas energias renováveis e comutação quântica. Esse autor organizou as tecnologias da Indústria 4.0 em três categorias distintas, conforme descrito na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Categorias das Tecnologias da Indústria 4.0, com base na tipologia de Schwab (2016)

Categoria	Tecnologia
Física	veículos autônomos, impressão 3D, robótica e novos materiais
Digital	sensores, internet das coisas, Blockchain, computação em nuvem e big data
Biológica	genética, genômica e biologia sintética.

5.2.3 Teoria dos Stakeholders

Além da Economia Circular e da Indústria 4.0, outro conceito relevante para esta pesquisa é a teoria dos Stakeholders, proposta por Freeman (2010). Essa teoria defende que as empresas devem considerar não apenas os interesses dos acionistas, mas também dos diversos grupos que são afetados pelas suas atividades, como funcionários, clientes, fornecedores, comunidade e governo. Geralmente, a organização focal de uma cadeia de suprimentos é um

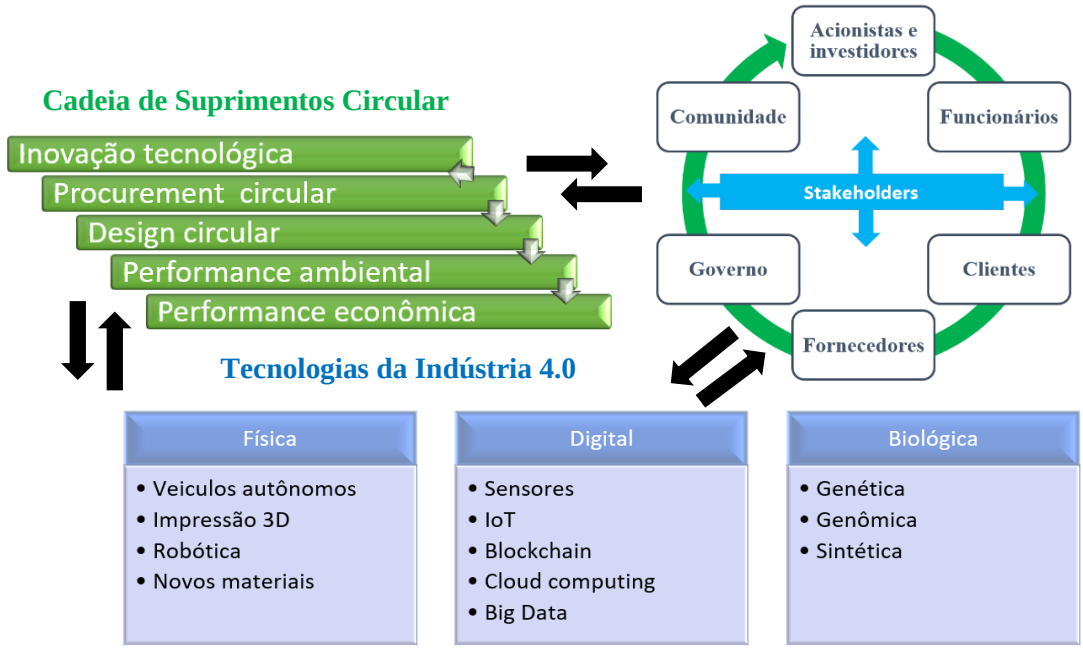
stakeholder de muitos outros pontos focais em seu sistema de interação. O vínculo entre entes é evidente, uma vez que o comportamento de uma organização e a resistência às demandas de todos os participantes desta rede (Rowley, 1997).

Contudo, Parmar et al. (2010) questionam como se pode criar valor simultaneamente para diferentes stakeholders desta rede. Já Donaldson & Preston (1995) argumentam que há a necessidade de os gestores reconhecerem os diferentes grupos aos quais estão inseridos suas organizações e seus interesses. Neste prisma, Freeman & Reed (1983) destacam que as empresas efetuam processos de negociação com todas as partes interessadas, de forma a ajustar de maneira amigável às expectativas das organizações. Cada vez mais, um número crescente de acadêmicos e profissionais têm verificado conceitos e modelos que facilitam a compreensão das complexidades dos desafios de negócios atuais, sendo assim, esta teoria se apresenta com o objetivo de entender e resolver três problemas interconectados: entender como o valor é criado e negociado, como conectar ética e capitalismo e como é efetuado o gerenciamento de modo que os dois primeiros problemas sejam resolvidos (Parmar et al., 2010).

Esta teoria se tornou popular para acadêmicos e executivos das organizações e busca entender, dentro de sua unidade de análise, as relações entre uma organização e os grupos ou indivíduos envolvidos (Mitchell et al., 1997). Há relacionamentos interconectados entre uma organização e vários outros agentes que afetam ou podem ser afetados pelas atividades organizacionais (Freeman & Mcvea, 2001). A pressão das partes interessadas pode motivar as organizações a adotarem certas práticas de sustentabilidade ambiental (Zhu et al., 2022). A teoria dos stakeholders vê a corporação como uma entidade organizacional pela qual diversos e numerosos participantes objetivam a realização de propósitos múltiplos e nem sempre comuns entre todos os participantes (Donaldson & Preston, 1995).

As partes interessadas são as pessoas ou grupos que possuem ou reivindicam propriedades, direitos ou interesses na empresa ou em suas atividades (Clarkson, 1995). Para este estudo, será utilizada a tipologia dos Stakeholders primários deste autor, os quais uma organização não sobrevive sem estes. Esses entes são os acionistas e investidores, funcionários, clientes, fornecedores, gerentes, governo e comunidade. Apresentados os dois constructos deste estudo, cadeia de suprimentos circulares e tecnologias da Indústria 4.0, somados à teoria dos Stakeholders, na Figura 5.1, é ilustrado o framework teórico. Neste, são apresentados os stakeholders primários da cadeia de suprimentos circulares com a interface das tecnologias da I4.0. Nesta figura são descritas as categorias de análise de estudo.

Figura 5.1 - Framework teórico do estudo



Com base no framework teórico apresentado na Figura 5.1, é possível visualizar as interações entre as categorias de análise da cadeia de suprimentos circular e as tecnologias da Indústria 4.0, sob a perspectiva dos Stakeholders. As cinco categorias da CSC, de acordo com a tipologia de Khan et al. (2022), incluem inovação tecnológica, *procurement* circular, design circular, performance ambiental e performance econômica. Cada uma dessas categorias tem a capacidade de gerar valor para as partes interessadas da organização. Os Stakeholders primários (Clarkson, 1995), que incluem acionistas e investidores, funcionários, clientes, fornecedores, gerentes, governo e comunidade, são apresentados por meio de uma rede fechada, descrevendo uma possível interligação entre essas partes interessadas dentro de um processo.

É importante considerar as necessidades e expectativas de cada um desses stakeholders ao implementar práticas circulares na cadeia de suprimentos, bem como ao adotar tecnologias da Indústria 4.0. Na parte inferior da figura, são apresentadas as três categorias de análise das tecnologias da Indústria 4.0, conforme descrito por Schwab (2016): física, digital e biológica. As possíveis interações entre elas são mostradas pelas setas, evidenciando como as tecnologias da I4.0 podem apoiar a implementação de práticas circulares na cadeia de suprimentos, trazendo benefícios econômicos e ambientais para as empresas e seus stakeholders. Assim, este framework teórico fundamenta o objetivo principal deste estudo, que é investigar como as

tecnologias da Indústria 4.0 podem apoiar a implementação de práticas circulares na cadeia de suprimentos, sob a perspectiva dos Stakeholders. Sendo assim, na próxima seção, serão descritos os procedimentos metodológicos utilizados neste estudo.

5.3 Procedimentos Metodológicos

A originalidade deste estudo é fundamentada em lacunas teóricas já analisadas previamente nos estudos de Silva & Sehnem (2022a) e Silva & Sehnem (2022b). Nesses estudos, foram verificados temas de pesquisas ainda não estudados, visto que este artigo busca identificar as interfaces entre as tecnologias da Indústria 4.0 e as cadeias de suprimentos circulares em foodtechs, bem como listar práticas circulares nas cadeias de suprimentos e compreender as nuances de aderência das tecnologias da I4.0. Por fim, foram apontadas as respostas às questões levantadas por Freeman, et al. (2010) na Teoria dos Stakeholders: (i) entender como o valor é criado e negociado, (ii) como conectar ética e capitalismo e (iii) como é efetuado o gerenciamento de modo que os dois primeiros problemas sejam resolvidos.

Além da originalidade já verificada, podem ser enumerados alguns estudos que possuem escopo similar, a citar: o estudo de Massaro et al. (2020), que visa explorar como a Indústria 4.0 pode ser usada para aumentar o impacto da Economia Circular nas empresas; o artigo de Batista et al. (2021), que apresenta uma abordagem metodológica para apoiar a análise qualitativa de fluxo de resíduos nas cadeias de suprimento circulares; os autores Tavera Romero et al. (2021), que descrevem a relação entre EC e I4.0 e, por fim, o estudo de Khan et al. (2022), que examina o efeito da inovação tecnológica sobre as práticas da EC, avaliando sua relação com o desempenho ambiental e econômico.

Como objeto de estudo, as startups são novas entrantes no mercado, geralmente fundadas por empreendedores com impulso tecnológico e foco em mudanças radicais desde seu início. Geralmente, são baseadas em inovações, sendo que essas empresas podem desempenhar um papel crucial em uma comunidade, promovendo um maior nível de sustentabilidade por meio de seu impacto positivo (Rok & Kulik, 2021). A pesquisa por essas empresas foi efetuada em um dos maiores portais de startups brasileiros, o Startup Scanner (https://startupscanner.com). Esta ferramenta é uma plataforma digital da Liga Ventures, onde pode ser acessado o mapa de startups brasileiras com soluções para as áreas de foodtechs, sendo esta base constantemente atualizada.

O levantamento dos dados foi realizado entre novembro de 2022 e março de 2023. Após essa primeira etapa, foi realizada uma análise prévia dos sites e mídias sociais das foodtechs para verificar sua aderência aos aspectos de cadeias de suprimentos circulares e,

posteriormente, foram selecionadas as empresas que aceitaram participar da pesquisa. Esta aderência foi verificada através de externalização nestas mídias de alguma prática circular para foodtechs, A amostra deste estudo é composta por oito foodtechs, cujas razões sociais foram preservadas devido ao sigilo, sendo identificadas por siglas.

Este estudo é predominantemente uma pesquisa exploratória qualitativa, com base em estudos de casos múltiplos. A técnica principal de coleta de dados utilizada foram as entrevistas, realizadas tanto presencialmente, quanto online. Para apoiar essa coleta de dados, foram utilizados dados secundários disponíveis nas mídias sociais das empresas, como sites, Instagram, Facebook, LinkedIn e vídeos no Youtube. Na Tabela 5.3, são apresentadas informações sobre os dados primários coletados e os dados secundários levantados para este estudo.

Tabela 5.3 - Descrição dos dados da pesquisa

Foodtech	**Dados primários - Entrevistas**		**Dados secundários**				
	Número de páginas transcritas	**Entrevistada - cargo**	**Webpage**	**Instagram**	**LinkedIn**	**Facebook**	**Youtube**
XYZ	21	Sócia Proprietária	X	X	X	X	X
APX	16	Diretora de Operações	X	X	X	X	X
MMN	24	Diretora	X	X	X	X	X
SAB	6	Sócia Diretora	X	X		X	
FBN	7	Diretora Comercial	X	X	X	X	
SEI	17	Diretor Proprietário	X	X	X		X
MNA	17	Proprietária	X	X	X	X	
ALL	19	Sócia Proprietária	X	X		X	X

Com base nos dados coletados a partir das entrevistas e informações adicionais dos dados secundários, foi realizada a análise qualitativa. Para isso, foram seguidas as fases analíticas de compilação, decomposição, recomposição, rearranjo, interpretação e conclusão, conforme a metodologia descrita por Yin (2010). A descrição das categorias é apresentada na Tabela 5.4. Foi utilizado para esta categorização as tipologias descritas no framework teórico deste estudo, a citar: Cadeia de Suprimentos Circulares, a tipologia de Khan et al. (2022), a categorização através dos stakeholders primários (Clarkson, 1995) e a tipologia de tecnologias da Indústria 4.0 de Schwab (2016).

Tabela 5.4 - Categorias e subcategorias de análise

Categoria	Subcategoria
1 - CSC - Cadeia de Suprimentos Circular	1.1 - IT - Inovação Tecnológica
	1.2 - PC - Procurement Circular
	1.3 - DC - Design Circular
	1.4 - PA - Performance ambiental
	1.5 - PE - Performance Econômica
2 - I4.0 - Tecnologias da Industria 4.0	2.1 - FI - Física
	2.2 - DI - Digital
	2.3 - BI - Biológica
3 - STK - Stakeholders	3.1 - AI - Acionistas e Investidores
	3.2 - FU - Funcionários
	3.3 - CL - Clientes
	3.4 - FO - Fornecedores
	3.5 - GE - Gerentes
	3.6 - GV - Governo
	3.7 - CM - Comunidade

Sendo apresentado nesta seção o percurso metodológico deste estudo, na proxima seção apresentaremos os resultados e suas análises.

5.4 Apresentação e análise dos resultados

Nesta seção, são apresentados os resultados e análises obtidos neste estudo. A descrição dos resultados segue a sequência dos três constructos da pesquisa: cadeia de suprimentos circulares, tecnologias da Indústria 4.0 e stakeholders estratégicos. Na análise dos resultados, foram identificadas, por foodtech, a utilização de práticas circulares na cadeia de suprimentos, a aderência às tecnologias da I4.0 e a presença dos stakeholders primários. Esses resultados fornecem respostas aos objetivos do estudo, tanto o geral quanto os específicos. Além disso, as principais lições aprendidas são enumeradas.

5.4.1 Apresentação dos resultados

Primeiramente, foi possível identificar práticas circulares nas cadeias de suprimentos de todas as foodtechs pesquisadas, sendo que muitas delas realizam essas ações sem mesmo ter conhecimento do conceito de Economia Circular (foodtechs SAB e SEI). Foram identificadas dezesseis práticas de Economia Circular e elas estão apresentadas na Tabela 5.5. Nessa tabela, estão descritas as práticas, as foodtechs e a(s) categoria(s) identificada(s), seguindo a tipologia de Khan, et al. (2022) e a foodtech que realizou essa prática.

Tabela 5.5 - Identificação das práticas de cadeia de suprimentos circulares

Foodtech	Prática identificada	Categoria
XYZ	Utilização de embalagens amigáveis, com papel biodegradável, os quais não precisam de retorno.	1.4 e 1.5
	Produtos em harmonia com a natureza, extraindo o melhor da terra através do redesenho da produção de alimentos. Com 80% dos ingredientes locais e reestreáveis, sendo 100% oriundos de vegetais.	1.4
	Visto que as PANCs respeitam a interação entre plantas e espécies, a produção dos alimentos não agride o meio ambiente, e consequentemente, reduz a pegada de carbono. Inserindo a biodiversidade no campo, é possível regenerar o solo, a água, extraindo os micronutrientes dos alimentos. Este processo produtivo é possível de ser escalado para um patamar industrial, podendo ser aplicado em toda a cadeia de suprimentos alimentares, desde a produção, logística, beneficiamento e comercialização. As PANCs são mais resistentes às mudanças climáticas, necessitam de menos pesticidas e são ricas em nutrientes.	1.4
APX	Instalação de 210 placas solares de geração de energia, 2 caixas d'água no total de mil litros para reaproveitamento da água de chuva para uso na lavagem do entorno da fábrica.	1.1
	Os resíduos são destinados seletivamente para cada natureza de reciclador.	1.2
	Agregamento de conhecimento aos fornecedores, através de treinamentos de: (i) criação de agrofloresta (em laboratório que simula esta cultura); (ii) utilização dos rejeitos da produção para produzir subprodutos, como exemplo, sobras de tomate ou laranja para efetuar compotas ou geleias.	1.2
MMN	Com uma geração de resíduo baixa, aproveita o rejeito (a casca) de sua principal matéria prima (mandioca) é revendido para seus fornecedores para a alimentação animal, formando assim, uma cadeia de suprimentos de loop fechado. Como também a utilização de seus subprodutos, como, por exemplo, o amido, a massa e o caldo da mandioca.	1.4 e 1.5
SAB	Quando possível, utiliza embalagens ecológicas, mesmo que sendo identificada como de valor mais alto.	1.4 e 1.5
FBN	Geram um bônus para a próxima compra quando o cliente retorna com a embalagem de vidro.	1.4 e 1.5
	Somente faz a aquisição de fornecedores com todos os documentos regulatórios e também os quais são aprovados através de visita de inspeção	1.2
SEI	Alteração da troca de combustível da frota de veículos de entrega e coleta, de diesel para gás natural.	1.1
	A principal matéria prima, os grãos, são comprados de produtores locais.	1.2
	Os produtos que passam da validade, são usados para alimentação animal.	1.4
MNA	A sua planta fabril está projetada com um design sustentável, com aproveitamento da água, geração de energia solar, circulação de vento e maior aproveitamento de iluminação solar.	1.3
ALL	A certificação de seus produtos orgânicos é efetuada por uma certificação coletiva participativa, onde um grupo de agricultores fiscaliza o outro. Sendo que um organismo certificador oficial efetuará fiscalização no grupo todo coletivamente.	1.5

	Alteraram todas as embalagens plásticas para embalagens retornáveis, com o investimento próprio.	1.4 e 1.5

Já a Tabela 5.6 apresenta as tecnologias da Indústria 4.0 encontradas nas empresas pesquisadas. Sendo apresentado nestas a foodtech identificada, a Categoria de análise, seguindo a tipologia de Schwab (2016), a Tecnologia da I4.0 identifica e a prática em que esta tecnologia está inserida.

Tabela 5.6 - Tecnologias da I4.0 identificadas

Foodtech	Categoria	Tecnologia	Prática
XYZ	Digital	Internet das coisas	Apoio, através de aplicativos de celulares, na gestão com fornecedores e clientes
APX	Digital	Big Data	Suporte em pesquisas avançadas
	Digital	Internet das coisas	Monitoramento do produtor local, com aplicativos no celular e computadores, o com indicadores de regeneração e sustentabilidade
	Digital	Computação na nuvem	Gerenciamento de todas as operações na nuvem
MMN	Digital	Computação na nuvem	Descrição nas embalagens dos produtos, através de QR Code, para informação ao consumidor da rastreabilidade dos ingredientes, descrevendo a localização da comunidade do produtor.
FBN	Digital	Computação na nuvem	ERP na nuvem
ALL	Digital	Internet das coisas	Vendas via Whatsapp e Instagram, com apoio dos algoritmos para a divulgação dos produtos através de cardápio digital

Apesar de terem sido identificadas sete tecnologias da Indústria 4.0 nas foodtechs pesquisadas, apenas cinco das oito empresas utilizam essas tecnologias, tanto em suas cadeias de suprimentos como em seus processos internos. Em relação ao engajamento dos stakeholders, foi possível identificar a participação principalmente dos fornecedores, clientes, funcionários e gerentes, enquanto os acionistas e investidores tiveram uma interação menor na amostra estudada. Já o governo e a comunidade não foram identificados, tanto nos dados primários quanto nos secundários. Com base nesses achados, na próxima seção são descritas as análises dos resultados.

5.4.2 Análise dos resultados

Práticas circulares de performance ambiental e performance econômica se apresentaram em grande parte das foodtechs pesquisadas. Especialmente, se destacam as de utilização de embalagens retornáveis e biodegradáveis, mesmo que o valor agregado destes produtos seja

maior do que embalagens padrões ação estão que exige uma nova abordagem para a gestão de recursos, o que apoia um caminho inovador para o desenvolvimento sustentável e que introduz uma nova perspectiva na geração de valor (Dantas et al. 2021). Ações de *procurement* ambiental também foram verificadas nas foodtechs, com uma forte interação dos fornecedores, como, por exemplo, o uso de fontes locais, apoio no desenvolvimento de empresas menores e pequenas práticas de simbiose industrial refere-se a praticas coletivas de troca de materiais e recursos, sendo uma passível solução para a destinação de resíduos industriais destas empresas (Cagno et al., 2023).

As empresas pesquisadas, em grande parte, já externam a sinergia que possuem com a economia circular, principalmente em suas mídias sociais e sites. Este entendimento do conceito se apresenta nas ações em suas plantas fabris, como a empresa APX e MNA, as quais já foram construindo obedecendo as premissas circulares. Outro ponto de destaque é o grande conhecimento de técnicas sustentáveis de produção, como o remanejo do solo, os ciclos de plantio de cada produto, técnicas de adubos não nocivos ao meio ambiente, através da compostagem de rejeitos, entre outros. Estas práticas são excelentes maneiras de diminuir drasticamente a geração de resíduos e reduzir a pegada ecológica (Al-Sheyadi et al., 2019). O estudo identificou um uso inovador das tecnologias da Indústria 4.0, como a utilização de QR Codes para rastreabilidade dos ingredientes e a venda de produtos por meio de aplicativos como WhatsApp e Instagram. Essas práticas demonstram a adaptabilidade das foodtechs e a capacidade de explorar novas formas de se engajar com clientes e fornecedores, além de criar valor agregado aos produtos.

A Foodtech LAA retratou um exemplo de produção de ciclo fechado do seu dia a dia "nossos processos, na grande maioria, são cíclicos, como, por exemplo a gente faz a compostagem, da compostagem e a gente faz adubo, o adubo vai adubar as plantas, essas plantas ou a gente consome ou comercializa. O que a gente perde, aquelas alfaces que não venderam, tudo que sobra da horta, vai para as galinhas, as galinhas consomem as galinhas nos dão os ovos e assim o ciclo continua. Depois o a gente come o ovo, a casca do ovo volta para composteira e assim por diante, entendeu? Então assim, essa prática de fechar os ciclos já está presente em nossa realidade deste o início de nosso negócio". Este exemplo mostra como as empresas terão que se reorientar em torno dos princípios da Economia Circular, principalmente nas suas cadeias de suprimentos, abandonando os métodos lineares tradicionais (Urbinati et al., 2017).

As foodtechs pesquisadas reconhecem a importância das tecnologias da Indústria 4.0 para a perenidade de suas organizações, porém, os valores financeiros elevados dessas novas

tecnologias ainda representam um grande desafio para sua adoção, especialmente para pequenas e médias empresas que possuem recursos mais limitados. Já Foodtech XYZ destacou essa dificuldade ao afirmar que "Na parte industrial há formas de melhorar com a automatização. Mas uma Indústria é bem complicada, é muito investimento mesmo". Apesar dos esforços na utilização das tecnologias da I4.0 nas foodtechs, as práticas digitais ainda são embrionárias, principalmente no que se refere à interação com as cadeias de suprimentos circulares. As práticas digitais foram categorizadas conforme Schwab (2016), sendo os aplicativos, tanto de celulares como os instalados nos computadores, categorizados como Internet das Coisas, que conectam produtos e pessoas à internet, coletando dados e gerando novas informações (Ranta et al., 2021).

Ficou evidente que nas foodtechs pesquisadas, os três problemas que a Teoria dos Stakeholders (Parmar et al., 2010) buscam resolver estão presentes no dia a dia destas organizações. Sobre o primeiro ponto, que consiste em entender como o valor é criado e negociado, é possível enumerar alguns pontos de congruência entre as empresas pesquisadas. Primeiramente, no que tange à interação dos principais participantes da cadeia de suprimentos circular, a criação de valor deste processo ainda carece de melhorias significativas.

Isso se deve ao fato de que as práticas circulares, apesar de serem consideradas importantes e já serem praticadas em boa parte dos processos, ainda são vistas como de alto custo para essas empresas. Esse fator econômico se agrava mais ainda com a utilização das tecnologias da Indústria 4.0, já que todos os entrevistados consideraram essas tecnologias de alto custo para implantação e utilização. Com isso, a utilização dessas tecnologias nas cadeias de suprimentos circulares ainda é embrionária, apesar de serem consideradas de vital importância para o futuro das empresas.

Já em relação à segunda questão, que diz respeito à conexão da ética com o capitalismo, foi fortemente evidenciada nas foodtechs. As tecnologias da Indústria 4.0 tendem a apoiar essa conexão, pois geram transparências nos processos e nas transações para todos os stakeholders. Com isso, todos os elos da cadeia de suprimentos circular de alimentos tendem a utilizar a ética, objetivando sempre o resultado econômico do processo.

Com base nessas constatações, o terceiro problema da Teoria dos Stakeholders, que é o gerenciamento de modo que os dois primeiros problemas sejam resolvidos. Isso se torna desafiador para as foodtechs, já que essas empresas ainda estão em crescimento e a rentabilidade de seus produtos ainda é o objetivo principal. É notório, nas empresas pesquisadas, o engajamento dos stakeholders, como foi verificado na Foodtech XYZ e MMN, onde estas descrevem a necessidade do apoio da comunidade, clientes, ONGs, entre outros,

como citado “A comunidade da agricultura local, os clientes e investidores que tenham essa pegada da economia circular, ONGs, certificadora de orgânicos, certificadora de biodiversidade, a gente também já tá conversando”.

Ficou evidente que a Economia Circular e a Indústria 4.0 estão sendo combinadas para criar paradigmas industriais mais sustentáveis e restauradores. Essas tecnologias são vistas como ferramentas importantes para a transição circular em organizações, trazendo benefícios como aumento da transparência e visibilidade nos processos, melhoria na coleta de dados e maior eficiência no uso de recursos. Mesmo com recursos financeiros limitados, as foodtechs consideram essas tecnologias como prioritárias para implementação em suas cadeias de suprimentos.

A Tabela 5.7 apresenta sete ações que utilizam as tecnologias da Indústria 4.0, porém somente cinco das oito empresas pesquisadas utilizaram essas tecnologias. Isso sugere que ainda há um longo caminho a ser percorrido por essas pequenas empresas. A tabela mostra as interfaces identificadas entre as tecnologias da Indústria 4.0 e as cadeias de suprimentos circulares nas foodtechs pesquisadas, considerando os principais stakeholders do setor. São apresentados as ações identificadas, as partes interessadas envolvidas e os autores que embasam esses achados

Tabela 5.7 - Interfaces entre CSC, I4.0 atraves dos Stakeholders primários

Interfaces	**Stakeholders envolvidos**	**Autores Basilares**
O Big Data apoiando pesquisas de *procurements* novos fornecedores com objetivo de maior circularidade nas cadeias de suprimentos	3.4 - FO	Castelo-Branco et al. (2019)
A utilização da Internet das Coisas através de aplicativos para compra, venda e monitoramento de fornecedores em questões de métricas circulares	3.4 - FO	Culot et al. (2020); Ejsmont et al.(2020)
Plataformas de compartilhamento de dados e informações, através da IoT, entre os membros da cadeia de suprimentos o que permite uma avaliação flexível e responsiva do ciclo de vida do produto, além apoiar na utilização dos dados disponíveis na cadeia de suprimentos,	3.1 - AI 3.2 - FU 3.4 - FO 3.5 - GE	Zhang et al. (2020)
Virtualização de processos internos através da computação na nuvem	3.2 - FU	Zhang et al. (2020)
Uso de dispositivos móveis, através da IoT, para acompanhamento de retorno de embalagens reutilizáveis	3.3 - CL	Neri et al. (2023)
Rastreabilidade de todo o processo produtivo circular através da computação na nuvem	3.2 - FU 3.3 - CL 3.4 - FO 3.5 – GE	de Sousa Jabbour, et al. (2018)

Com estes achados, é possível perceber que as tecnologias da Indústria 4.0 e a Economia Circular estão sendo cada vez mais valorizadas pelas foodtechs, apesar das dificuldades financeiras enfrentadas por elas. A implementação dessas tecnologias traz benefícios como maior eficiência no uso de recursos, transparência nos processos e coleta de dados mais precisa. É importante ressaltar que ainda há um longo caminho a ser percorrido para a implementação de outras tecnologias, mas os resultados obtidos mostram uma sinergia entre a CSC e I4.0 através dos stakeholders. Esses achados validam as interfaces descritas no framework teórico e respondem ao objetivo principal do estudo.

Com base nos resultados apresentados e considerando o framework teórico proposto, pode-se concluir que as foodtechs pesquisadas estão adotando práticas circulares em suas cadeias de suprimentos e estão utilizando tecnologias da Indústria 4.0 para apoiar essas práticas. Esses achados estão em conformidade com as categorias de análise da CSC e das tecnologias da I4.0 apresentadas por Khan et al. (2022) e Schwab (2016), respectivamente.

Quanto à participação dos stakeholders, foram identificados os fornecedores, clientes, funcionários e gerentes como os principais envolvidos no processo de implementação de práticas circulares e adoção de tecnologias da I4.0 na cadeia de suprimentos. Isso corrobora a teoria dos stakeholders, fundamentada por Freeman (2010), Clarkson (1995) e Mitchell et al. (1997), que destacam a importância de se considerar as necessidades e expectativas de todas as partes interessadas na tomada de decisão empresarial. Dessa forma, a sinergia entre as práticas de Economia Circular e as tecnologias da I4.0, aliada à participação dos stakeholders, demonstra que as empresas estão adotando estratégias sustentáveis em suas cadeias de suprimentos e buscando trazer benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a economia.

5.4.3 Lições aprendidas

As lições aprendidas desta pesquisa incluem:

a) O engajamento dos acionistas e investidores, bem como dos gerentes, independe do gênero dos responsáveis pelas foodtechs pesquisadas.
b) É necessário que a sustentabilidade na cadeia de alimentos seja discutida por todos os envolvidos, pois estamos literalmente comendo o planeta e temos pouco tempo para reverter essa situação.
c) A foodtech APX apresentou forte engajamento dos stakeholders em práticas circulares na cadeia de suprimentos, como fornecedores locais e uso de embalagens recicladas.

d) A adoção das tecnologias da Indústria 4.0 é vista como importante pelas foodtechs, mas ainda são consideradas de alto custo e sua implementação nas cadeias de suprimentos circulares é embrionária.
e) A conexão da ética com o capitalismo é forte nas foodtechs pesquisadas e as tecnologias da Indústria 4.0 tendem a apoiar essa conexão.
f) A transparência e visibilidade nos processos, melhoria na coleta de dados e maior eficiência na utilização de recursos são benefícios das tecnologias da Indústria 4.0.
g) As foodtechs pesquisadas estão preocupadas em criar valor na interação dos principais participantes da cadeia de suprimentos circular, mas ainda há um longo caminho a percorrer.
h) O gerenciamento das foodtechs para resolver os problemas da Teoria dos Stakeholders é desafiador, pois a rentabilidade dos produtos ainda é o objetivo principal dessas empresas.

5.5 Considerações Finais

Este estudo buscou identificar as interfaces entre a Economia Circular e as Tecnologias da Indústria 4.0 em foodtechs, por meio da análise dos principais stakeholders do setor. Foram identificadas seis interfaces entre os dois campos teóricos, com destaque para a eficiência nas cadeias produtivas circulares, o engajamento dos stakeholders estratégicos, a criação de valor para as foodtechs e a importância das tecnologias da Indústria 4.0 para a circularidade de recursos.

Com base na análise dos resultados, é possível concluir que as foodtechs pesquisadas apresentam um grande potencial para a implementação de práticas circulares em suas cadeias de suprimentos, bem como para a adoção de tecnologias da Indústria 4.0. Embora as foodtechs ainda estejam em fase de desenvolvimento, foram identificadas diversas práticas circulares que estão sendo implementadas pelas empresas, tais como a utilização de embalagens recicladas, a redução do desperdício de alimentos e a priorização de fornecedores locais.

Além disso, as tecnologias da Indústria 4.0 surgem como uma ferramenta interessante para a transição circular em organizações, pois podem aumentar a eficiência na utilização de recursos, melhorar a coleta de dados e aumentar a transparência e visibilidade nos processos. No entanto, os altos custos de investimento ainda são um obstáculo para as foodtechs, que ainda estão em fase de crescimento e precisam priorizar a rentabilidade de seus produtos.

Com relação aos objetivos específicos, foi possível descrever 16 práticas de cadeia de suprimentos circulares nas foodtechs pesquisadas, o que atendeu ao primeiro objetivo. No segundo objetivo, foram identificadas três tecnologias da Indústria 4.0 já utilizadas pelas empresas pesquisadas. Por fim, o terceiro objetivo foi alcançado ao responder às três questões da teoria dos Stakeholders (Freeman et al., 2010) por meio da identificação das partes interessadas e das interfaces entre as tecnologias da I4.0 e as cadeias de suprimentos circulares Assim, é possível concluir que este estudo alcançou seus objetivos específicos e trouxe importantes contribuições práticas, gerenciais, teóricas e sociais para o contexto de foodtechs brasileiras em relação às interfaces entre as tecnologias da Indústria 4.0 e as cadeias de suprimentos circulares.

A resposta ao objetivo geral deste estudo foi alcançada através da identificação de seis interfaces entre as tecnologias da Indústria 4.0 e cadeias de suprimentos circulares em foodtechs, com a identificação dos principais stakeholders envolvidos. Além disso, foram descritas práticas circulares nas cadeias de suprimentos, a aderência das tecnologias da Indústria 4.0 nas foodtechs pesquisadas e como as foodtechs estão respondendo às questões levantadas pela teoria dos Stakeholders.

As contribuições práticas desta pesquisa incluem a evidência de que as tecnologias da Indústria 4.0 podem gerar eficiência nas cadeias produtivas circulares das foodtechs, mesmo que a aquisição dessas tecnologias represente um alto investimento e ainda sejam incipientes nas empresas pesquisadas. Além disso, o engajamento dos stakeholders estratégicos é fundamental para otimizar as cadeias produtivas circulares em foodtechs no Brasil, e a circularidade de recursos pode criar valor quando suportada pelas tecnologias da Indústria 4.0.

A contribuição gerencial desta pesquisa é a constatação de que as foodtechs pesquisadas, apesar de implementarem diversas práticas de Economia Circular em suas cadeias de suprimentos, ainda estão em fase de desenvolvimento e necessitam de maiores investimentos em pesquisa e em suas cadeias de suprimentos. É necessária uma abordagem integrada que combine tecnologias da Indústria 4.0 e Economia Circular para maximizar a sustentabilidade das cadeias produtivas em foodtechs

A principal contribuição teórica deste estudo é a junção de dois campos teóricos emergentes, a Economia Circular e a Indústria 4.0, com uma teoria consolidada, a Teoria dos Stakeholders. Essa combinação de conceitos é ainda pouco explorada na literatura acadêmica, e a pesquisa trouxe à tona esses novos conceitos no contexto de foodtechs brasileiras em fase inicial de implementação de tecnologias da Indústria 4.0 e práticas circulares em suas cadeias de suprimentos. O trabalho contribui para preencher lacunas teóricas identificadas em estudos

anteriores, especialmente no contexto brasileiro de pequenas e médias empresas (Geissdoerfer et al.; 2017; Gupta et al.,2021; Bag & Pretorius, 2022; Khan et al., 2022; Rok & Kulik, 2021; Chaudhuri et al., 2022;, Silva & Sehnem, 2022a; Silva & Sehnem, 2022b).

A contribuição social desta pesquisa é a constatação de que as foodtechs, mesmo em fase embrionária na utilização das tecnologias da Indústria 4.0 devido ao seu alto custo, já possuem a ciência de que é possível o engajamento dos stakeholders em suas práticas circulares, tanto em suas cadeias de suprimentos como dentro de suas organizações. Isso pode levar a uma maior conscientização sobre a importância da sustentabilidade e da Economia Circular nas empresas brasileiras. Além disso, a utilização de tecnologias da Indústria 4.0 pode gerar uma maior inclusão social, pois pode promover uma maior eficiência na utilização de recursos e a redução de desperdícios, levando a uma maior geração de empregos e ao aumento da qualidade de vida das comunidades locais.

As limitações do estudo foram principalmente o número reduzido de empresas pesquisadas, o que pode limitar a generalização dos resultados para o setor de foodtechs. Além disso, muitas das empresas pesquisadas ainda estão em fase inicial de implementação de tecnologias da Indústria 4.0, o que pode resultar em uma análise limitada das interfaces entre a Economia Circular e a Indústria 4.0 nessas organizações. Outra limitação pode ser o viés dos pesquisadores, que podem ter influenciado na interpretação dos resultados. Ademais, é importante ressaltar que a pesquisa foi realizada em um contexto brasileiro, e que as conclusões podem não ser generalizáveis para outros países ou regiões com realidades distintas. Por fim, o estudo apresenta uma perspectiva predominantemente qualitativa, o que pode limitar a compreensão quantitativa das relações entre a EC e a I4.0.

Como sugestões para estudos futuros, seria a realização de uma análise mais detalhada sobre como as foodtechs estão lidando com a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 em suas cadeias de suprimentos circulares. Além disso, poderia ser feita uma comparação entre as foodtechs pesquisadas e empresas de outros setores, a fim de verificar se as interfaces entre as tecnologias da Indústria 4.0 e as cadeias de suprimentos circulares são semelhantes ou diferentes em diferentes contextos empresariais. Isso poderia contribuir para uma melhor compreensão sobre como essas interfaces funcionam e quais fatores influenciam o seu sucesso em diferentes tipos de organizações.

Dessa forma, este estudo contribui para a compreensão das interfaces entre Economia Circular e Indústria 4.0 em foodtechs brasileiras, identificando as principais práticas circulares nas cadeias de suprimentos, as tecnologias da Indústria 4.0 adotadas pelas empresas e como elas respondem às questões levantadas pela Teoria dos Stakeholders. Além disso, foram

apresentadas contribuições práticas, gerenciais e sociais deste estudo, bem como suas limitações e sugestões para estudos futuros.

Referências

Al-Sheyadi, A., Muyldermans, L., & Kauppi, K. (2019). The complementarity of green supply chain management practices and the impact on environmental performance. *Journal of environmental management*, *242*, 186-198. https:// doi. org/ 10. 1016/j. jenvm an. 2019. 04. 078.

Bag, S., & Pretorius, J. H. C. (2022). Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: proposal of a research framework. *International Journal of Organizational Analysis*, *30*(4), 864-898. https://doi:10.1108/ijoa-04-2020-2120.

Batista, L., Dora, M., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V. (2021). Improving the sustainability of food supply chains through circular economy practices–a qualitative mapping approach. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, *32*(4), 752-767. https://doi.org/10.1108/MEQ-09-2020-0211.

Beltrami, M., Orzes, G., Sarkis, J., & Sartor, M. (2021). Industry 4.0 and sustainability: Towards conceptualization and theory. *Journal of Cleaner Production*, *312*, 127733. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127733.

Cagno, E., Negri, M., Neri, A., & Giambone, M. (2023). One Framework to Rule Them All: An Integrated, Multi-level and Scalable Performance Measurement Framework of Sustainability, Circular Economy and Industrial Symbiosis. *Sustainable Production and Consumption*, *35*, https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.10.016.

Castelo-Branco, I., Cruz-Jesus, F., Oliveira, T., (2019). Assessing industry 4.0 readiness in manufacturing: evidence for the European union. *Computers in Industry. 107*, 22–32. https:// doi.org/10.1016/j.compind.2019.01.007.

Chaudhuri, A., Subramanian, N. & Dora, M. (2022). Circular economy and digital capabilities of SMEs for providing value to customers: Combined resource-based view and ambidexterity perspective. *Journal of Business Research, 142*, 32-44. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.12.039.

Chen, Z., Yildizbasi, A. & Sarkis, J. (2023). How safe is the circular economy?. *Resources, Conservation and Recycling, 188*, 106649. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106649.

Circle Economy. (2023). The circularity gap report (2023) (pp. 1-64, Rep.). Amsterdam: Circle Economy.

Clarkson, M. B. E.. (1995). A Stakeholder Framework for Analyzing and Evaluating Corporate Social Performance. *The Academy of Management Review*, *20*(1), 92–117. https://doi.org/10.2307/258888.

Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G. & Sartor, M. (2020). Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. International *Journal of Production Economics, 226*, 107617.https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107617.

Dantas, T. E. T., de-Souza, E. D., Destro, I. R., Hammes, G., Rodriguez, C. M. T., & Soares, S. R. (2021). How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. *Sustainable Production and Consumption*, *26*, 213-227. https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.005.

de Sousa Jabbour, A.B.L., Jabbour, C.J.C., Godinho Filho, M. & Roubaud, D., (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*. 270, 273–286. https://doi.org/ 10.1007/s10479-018-2772-8.

Del Giudice, M., Chierici, R., Mazzucchelli, A. & Fiano, F. (2021). Supply chain management in the era of circular economy: the moderating effect of big data. *The International Journal of Logistics Management, 32*(2), 337-356. https://doi.org/10.1108/IJLM-03-2020-0119.

Donaldson, T. & Preston, L.E. (1995). The stakeholder theory of the corporation: concepts, evidence and implications. *Academic Management Review 20* (1), 65–91. https://doi.org/10.5465/amr.1995.9503271992.

Ejsmont, K., Gladysz, B. & Kluczek, A. (2020). Impact of industry 4.0 on sustainability—bibliometric literature review. *Sustainability 12*, 5650. https://doi.org/10.3390/su12145650.

Elkington, J. (1994), Towards the sustainable corporation: win-win-win business strategies for sustainable development", *California Management Review. 36*(2). 90-100. https://doi.org/10.2307/41165746.

Ellen MacArthur Foundation (2015). Towards the Circular Economy. Disponível em https://archive.ellenmacarthurfoundation.org. Acesso em 08.03.2023.

Ellen MacArthur Foundation (2019). Cities and circular economy for food. Disponível em https://archive.ellenmacarthurfoundation.org. Acesso em 10.03.2023.

Ellen MacArthur Foundation (2021). The big food redesign: Regenerating nature with the circular economy. Disponível em https://archive.ellenmacarthurfoundation.org. Acesso em 03.03.2023.

Freeman, R. E. & Mcvea, J. (2001). A Stakeholder Approach to Strategic Management . SSRN *Electronic Journal*. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.263511.

Freeman, R. E. (2010). *Strategic management: A stakeholder approach*. Cambridge university press.

Freeman, R. E., & Reed, D. L. (1983). *Stockholders and Stakeholders: A New Perspective on Corporate Governance. California Management Review, 25(3), 88–106.* doi:10.2307/41165018.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P. & Hultink, E.J. (2017), The circular economy – a new sustainability paradigma?, *Journal of Cleaner Production. 143*, 757-768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048.

Gupta, H., Kumar, A. & Wasan, P. (2021). Industry 4.0, cleaner production and circular economy: An integrative framework for evaluating ethical and sustainable business performance of manufacturing organizations. *Journal of Cleaner Production, 295,* 126253. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126253.

Khan, S. A. R., Piprani, A. Z., & Yu, Z. (2022). Digital technology and circular economy practices: future of supply chains. *Operations Management Research, 15*(3-4), 676-688. https://doi.org/10.1007/s12063-021-00247-3.

Kirchherr, J., Reike, D. & Hekkert,M. (2017), Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions, *Resources, Conservation and Recycling, 127*(12), 221-232. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005.

Liu, L., Song, W., & Liu, Y. (2023). Leveraging digital capabilities toward a circular economy: Reinforcing sustainable supply chain management with Industry 4.0 technologies. *Computers & Industrial Engineering, 109113*. https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109113.

Mani, V., Jabbour, C. J. C., & Mani, K. T. (2020). Supply chain social sustainability in small and medium manufacturing enterprises and firms' performance: Empirical evidence from an emerging Asian economy. *International Journal of Production Economics, 227,* 107656. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107656.

Massaro, M., Secinaro, S., Dal Mas, F., Brescia, V. & Calandra, D. (2021). Industry 4.0 and circular economy: An exploratory analysis of academiand practitioners perspectives. *Business Strategy and the Environment,30*(2), 1213–1231. https://doi.org/10.1002/bse.2680.

Mitchell, R. K., Agle, B. R. & Wood, D. J. (1997). Toward a Theory of Stakeholder Identification and Salience: Defining the Principle of Who and What Really Counts. *The Academy of Management Review*, *22*(4), 853–886. https://doi.org/10.2307/259247.

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. 30*(3), 607-627 https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2018-0071.

Parmar, B. L., Freeman, R. E., Harrison, J. S., Wicks, A. C., Purnell, L., & De Colle, S. (2010). Stakeholder theory: The state of the art. *Academy of Management Annals*, *4*(1), 403-445. https://doi.org/10.5465/19416520.2010.495581.

Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., & Väisänen, J. M. (2021). Digital technologies catalyzing business model innovation for circular economy—Multiple case study. *Resources, Conservation and Recycling*, *164*, 105155. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105155.

Rok, B., & Kulik, M. (2021). Circular start-up development: the case of positive impact entrepreneurship in Poland. Corporate Governance: *The International Journal of Business in Society, 21(2*), 339-358. https://doi.org/10.1108/CG-01-2020-0043.

Rowley, T. J. (1997). Moving beyond Dyadic Ties: A Network Theory of Stakeholder Influences. *The Academy of Management Review*, *22*(4), 887–910. https://doi.org/10.2307/259248.

Schwab, K. (2016). A quarta revolução Industrial. São Paulo: Edipro. ISBN 978-85-7283-978-5.

Silva, T. H. H. & Sehnem, S. (2022a). The circular economy and Industry 4.0: Synergies and challenges. *Revista de Gestão*, *29*(3), 300-313. https://doi.org/10.1108/REGE-07-2021-0121.

Silva, T. H. H. & Sehnem, S. (2022b). Industry 4.0 and the Circular Economy: Integration Opportunities Generated by Startups. *Logistics*, *6*(1), 14. https://doi.org/10.3390/logistics6010014.

Tavera Romero, C. A., Castro, D. F., Ortiz, J. H., Khalaf, O. I., & Vargas, M. A. (2021). Synergy between circular economy and industry 4.0: a literature review. *Sustainability*, *13*(8), 4331. https://doi.org/10.3390/su13084331.

Urbinati, A., Chiaroni, D., & Chiesa, V. (2017). Towards a new taxonomy of circular economy business models. *Journal of Cleaner Production, 168,* 487-498. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.047.

Vegter, D., van Hillegersberg, J., & Olthaar, M. (2020). Supply chains in circular business models: processes and performance objectives. *Resources, Conservation and Recycling, 162*, 105046. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105046.

Yin, R. K. (2010). Estudo de caso: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman.

Zhang, A., Zhong, R. Y., Farooque, M., Kang, K., & Venkatesh, V. G. (2020). *Blockchain-based life cycle assessment: An implementation framework and system architecture. Resources, Conservation and Recycling, 152, 104512.* doi:10.1016/j.resconrec.2019.1045.

Zhu, Q., Bai, C., & Sarkis, J. (2022). Blockchain technology and supply chains: The paradox of the atheoretical research discourse. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *164*, 102824. https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102824.

Capítulo 6: Artigo 5 - As Tecnologias da Indústria 4.0 na potencialização da Economia Circular via engajamento dos stakeholders em foodtechs brasileiras

Resumo

Este estudo tem como objetivo identificar as tecnologias da Indústria 4.0 que potencializam a Economia Circular em foodtechs brasileiras, por meio do engajamento dos stakeholders. O estudo foi realizado em oito foodtechs, utilizando questionários e entrevistas e análise de conteúdo. Foram identificadas práticas de cadeias de suprimentos circulares, tecnologias da Indústria 4.0 e o envolvimento dos stakeholders. Os resultados demostram que as foodtechs estão adotando gradualmente as tecnologias da Indústria 4.0 para impulsionar a Economia Circular em suas operações. O engajamento dos stakeholders, juntamente com a implementação de tecnologias como automação, big data, biotecnologia e internet das coisas, tem sido fundamental nesse processo. No entanto, a adoção plena das tecnologias da Indústria 4.0 e a transição para a Economia Circular enfrentam desafios, como custos elevados e barreiras regulatórias. A colaboração entre empresas, órgãos reguladores, academia e sociedade é essencial para impulsionar a adoção dessas tecnologias e promover uma transformação efetiva. O estudo oferece insights práticos para as foodtechs interessadas em adotar práticas circulares, destacando as tecnologias e práticas que podem trazer benefícios econômicos e ambientais.

Palavras-chaves: Tecnologias das Industria 4.0; Economia circular; Engajamento dos Stakeholders; foodtechs;

Artigo submetido no XXVI SemeAd -2023
E a ser submetivo no journal Business, Strategy and the Environment

6.1 Introdução

A humanidade enfrenta desafios complexos, como a perda de biodiversidade, mudança climática, esgotamento de recursos, escassez de água, crescimento populacional e questões econômicas (Hamam et al., 2022; Cagno et al., 2023). É cada vez mais evidente que estes desafios devem ser abordados tanto por empresas quanto por governos, e o sistema alimentar desempenha um papel crucial nesse enfrentamento (Ellen MacArthur Foundation, 2021). No entanto, apenas 7,2% da economia mundial é considerada circular, o que indica uma dependência crescente de recursos virgens no sistema produtivo atual (Circle Economy, 2023).

Embora esse sistema tenha impulsionado o desenvolvimento econômico, os ganhos de produtividade vieram acompanhados de consequências graves e revelaram a inadequação desse modelo em atender às necessidades de longo prazo da humanidade (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Nesse contexto, a Economia Circular surge como uma necessidade, buscando modelos de negócios inovadores e um sistema regenerativo que reduza a utilização de matéria-prima, a geração de resíduos e as emissões de gases, por meio do fechamento dos ciclos de material e energia (Bocken & Ritala, 2021; Geissdoerfer et al., 2017).

Ao mesmo tempo, a Indústria 4.0 busca desenvolver fábricas e produtos inteligentes, proporcionando oportunidades de melhoria no desempenho das atividades produtivas, estratégias organizacionais, modelos de negócios e novas habilidades, com isto a gestão dos stakeholders desempenha um papel crucial na adoção e implementação efetiva da Economia Circular, por meio do uso destas tecnologias (Massaro et al., 2021). Com tudo, a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 possibilita a implementação de práticas de economia circular, embora ainda existem desafios a serem superados, especialmente para pequenas e médias empresas (Neri et al., 2023) e a interrelação destes dois tópicos pode moldar o futuro das organizações (Spaltini et al., 2021).

As startups são organizações que surgem em cenários incertos para desenvolver novos produtos ou serviços, se destacam por utilizar tecnologias emergentes e são valiosas no ambiente corporativo devido à sua agilidade, flexibilidade e capacidade de reinventar negócios tradicionais (Bertucci & Pedroso, 2022). Neste cenário, as foodtechs desempenham um papel relevante na transição para a economia circular, pois têm maior propensão para implementar os princípios circulares em seus modelos de negócios (Sehnem et al., 2022; Franceschelli et al., 2018).

Diante desse contexto, o objetivo deste estudo é identificar a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 para potencializar a Economia Circular, em foodtechs brasileiras, via engajamento dos stakeholders. Para isso, foram selecionadas oito foodtechs que já utilizam tecnologias da

Indústria 4.0 em seus processos internos ou em sua rede de stakeholders, visando potencializar a Economia Circular em seus modelos de negócio. Estas foodtechs se enquadram em quatro diferentes classificações mercadológicas: fornecedores de insumos, produtor rural, Indústria de transformação ou atacado e varejo.

Este estudo se justifica na necessidade da urgência em mudar do sistema linear para o circular, porém, existem lacunas a serem preenchidas, especialmente em relação ao apoio à transição por meio da inovação em organizações complexas que envolvem vários atores, redes e estruturas organizacionais (Sehnem et al., 2021). Identificar e explorar esta lacuna teórica pode contribuir para uma melhor compreensão deste objetivo de pesquisa. Com isto, este estudo toma como premissa a necessidade de novas descobertas relacionadas ao uso das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos das foodtechs, por meio do engajamento dos stakeholders, para impulsionar a adoção da Economia Circular (Silva & Sehnem, 2022a; Silva & Sehnem, 2022b)

Além desta seção introdutória, este estudo está estruturado da seguinte forma: a segunda seção aborda o arcabouço teórico sobre as tecnologias da Indústria 4.0 e a Economia Circular, explorando também as tecnologias da Indústria 4.0 na Economia Circular por meio dos stakeholders, além das tecnologias específicas da Indústria 4.0 que maximizam a Economia Circular. Na terceira seção, descrevemos o percurso metodológico adotado neste estudo, apresentando a seleção, coleta e análise dos dados. A quarta seção apresenta a descrição dos resultados obtidos, enquanto a quinta seção se dedica à análise desses resultados. Por fim, a seção final apresenta as conclusões deste estudo, abrangendo as principais descobertas e suas implicações.

6.2 Referencial teórico

Nesta seção é apresentado o arcabouço teórico que fundamenta este estudo empírico. Na primeira subseção é apresentado as assertivas sobre a Economia Circular. Na segunda subseção é descrito a conceituação sobre as tecnologias da Indústria 4.0. Na terceira subseção são descritas as tecnologias especificas da Indústria 4.0 para a maximização da Economia Circular. E, por fim, como são interrelacionados estes dois campos teóricos por meio dos stakeholders.

6.2.1 Economia Circular

A Economia Circular busca solucionar os problemas relacionados à escassez de recursos, resultantes do modelo econômico linear de "extrair, transformar, descartar". Seu

objetivo é manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor em todo o ciclo de vida, distinguindo entre ciclos técnicos e biológicos (Ellen MacArthur Foundation, 2015). As práticas da Economia Circular são relevantes para a implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, uma vez que um novo relacionamento com os bens e materiais economizaria recursos e energia e criaria empregos locais (Barros et al., 2020). Essa abordagem de negócios considera todo o ciclo de vida de um produto ou serviço, evitando o desperdício e promovendo a regeneração do ambiente natural (Geisendorf & Pietrulla, 2018).

Este campo teórico está ganhando importância como uma solução para os desafios do desenvolvimento sustentável nos âmbitos acadêmico, organizacional e político (Geissdoerfer et al., 2018). Seu objetivo central é eliminar desperdícios por meio da criação de fluxos cíclicos de recursos, promovendo a circularidade nos processos produtivos e nas cadeias de suprimentos integradas (Webster, 2015). Essa abordagem contribui para a redução do consumo de recursos naturais, como matérias-primas e energia, além de minimizar a geração de resíduos e emissões poluentes (Sehnem et al., 2020). Com base nos princípios da sustentabilidade econômica, social e ambiental, conhecidos como "Triple Bottom Line" (Elkington, 1994). A Economia Circular implica mudanças fundamentais nos âmbitos social, industrial e de consumo para promover um desenvolvimento sustentável mais equitativo e ambientalmente responsável (Pieroni et al., 2021).

Nesse contexto, a Economia Circular se baseia em conceitos-chave, como a produção mais limpa, que otimiza a gestão ambiental dos processos por meio da conservação de energia, redução de emissões e maior eficiência de produção (Ma et al., 2020; Lu et al., 2020). Além disso, a EC também abrange a simbiose industrial, que se baseia na ecologia industrial para promover a cooperação benéfica e mútua entre organizações, compartilhando água, recursos, energia, subprodutos e materiais residuais, de modo que todos os agentes envolvidos se beneficiem (Sehnem et al., 2019).

Atuando como um sistema regenerativo, busca reduzir insumos de recursos, resíduos, subprodutos, perdas de energia e emissões por meio da desaceleração, fechamento e limitação de materiais (Geissdoerfer et al., 2018). A implementação de práticas circulares é afetada por diversos fatores, que podem funcionar como facilitadores ou barreiras (Urbinati et al., 2021). Visa proteger o ciclo fechado dos materiais, promovendo a reutilização e a eficiência de recursos (Kumar et al., 2019). Os sistemas circulares são baseados em modelos de negócio que substituem o conceito de "fim de vida" pela redução, reutilização, reciclagem e recuperação de materiais nos processos produtivos, distribuição e consumo, com o objetivo de alcançar o

desenvolvimento sustentável, criando um ambiente de melhor qualidade e maior equidade econômica e social para as gerações presentes e futuras (Kirchherr et al., 2018).

No setor agroalimentar, questões como segurança alimentar, rastreabilidade, qualidade dos produtos e respeito ao meio ambiente têm sido de grande preocupação nos últimos anos (Hamam et al., 2022). Desse modo, a Economia Circular é apresentada como uma estratégia capaz de superar os desafios do atual modelo linear de produção e consumo no setor agroalimentar, buscando redesenhar radicalmente o caminho econômico tradicional (Esposito et al., 2020). A adesão aos princípios da Economia Circular é estrategicamente importante para as foodtechs, fornecendo vantagem competitiva e diferenciação, demonstrando foco na prevenção e controle da poluição, gestão do ciclo de vida do produto e a integração com o processo de desenvolvimento de produtos circulares (Sehnem et al., 2022).

A EC busca criar iniciativas ecologicamente corretas e maximizar a utilidade de produtos, componentes e materiais por meio do fechamento de ciclos de recursos, utilizando de forma eficiente o ecossistema, a economia e os fluxos de recursos relacionados Awan et al. (2022). Ela abrange três níveis distintos de atuação: no nível micro, tanto consumidores quanto empresas adotam práticas de produção mais limpas e ecodesign para melhorar o uso de materiais, recursos e reduzir o desperdício; no nível meso, são criadas iniciativas de parques industriais ecológicos, onde a simbiose industrial, redes industriais e mercados de comércio de resíduos desempenham um papel essencial; no nível macro, a EC é implementada em escala mais ampla, abrangendo cidades, regiões e nações, por meio de ações como eco cidades e programas de desperdício zero, visando promover padrões de consumo mais sustentáveis e melhorar a gestão de resíduos para alcançar altas taxas de reciclagem (Ghisellini et al., 2016).

A cadeia de suprimentos circular é uma rede de empresas que implementam fluxos de recuperação de materiais, subprodutos ou resíduos, podendo ser implementados por meio de processos que envolvem o fornecimento direto de produtos, subprodutos e resíduos para outros processos de produção de outras empresas (Batista et al, 2018). Estas redes possuem requisitos organizacionais e operacionais que incluem a coordenação, transparência, comunicação e alinhamento estratégico com fornecedores e clientes (Calzolari et al., 2021). A adoção da Economia Circular nas cadeias de suprimentos traz benefícios significativos, como a redução de custos, a melhoria da eficiência operacional, a minimização do impacto ambiental e o fortalecimento da reputação da empresa, no entanto, também apresenta desafios, como a necessidade de mudanças culturais, a superação de barreiras regulatórias e a colaboração estreita com os diferentes stakeholders (Khan et al., 2022).

6.2.2 As tecnologias da Indústria 4.0

O conceito de Indústria 4.0 refere-se ao conjunto de tecnologias, dispositivos e processos que operam de forma integrada ao longo das etapas do processo produtivo e da cadeia de suprimentos, permitindo uma produção autônoma, integrada e descentralizada, com mínima intervenção humana (Beltrami et al., 2021). Este conceito foi apresentado inicialmente na feira de Hannover, na Alemanha, em 2011 (Xu et al., 2018). O termo foi criado para abranger dois significados: o primeiro como sinônimo de uma suposta "quarta revolução industrial" e o segundo como rótulo para o plano estratégico perseguido pela Alemanha para fortalecer sua posição competitiva na manufatura de produtos (Culot et al., 2020).

A Indústria 4.0 tem como objetivo o desenvolvimento de fábricas e produtos inteligentes, oferecendo oportunidades para melhorar o desempenho da produção e seus processos, atividades, estratégias organizacionais, modelos de negócios e habilidades (Massaro et al., 2021). Essas tecnologias podem facilitar as interações entre diferentes partes interessadas (Upadhyay et al., 2021). Desde então, tem sido impulsionada pelo avanço de tecnologias disruptivas, como a Internet das Coisas (IoT), big data, computação em nuvem e sistemas ciberfísicos (Nascimento et al., 2019).

As características das tecnologias da Indústria 4.0 estão centradas no monitoramento, controle, processamento de informações em tempo real e otimização inteligente do processo de fabricação, com foco na personalização, eficiência energética, flexibilidade e fluxo de materiais (Rajput & Singh, 2020). Além das tecnologias tradicionais associadas à Indústria 4.0, como a Internet das Coisas, sensoriamento, Blockchain, manufatura inteligente e inteligência artificial (Bag et al., 2020; Rajput & Singh, 2020), outras abordagens também estão ganhando importância, como aprendizado de máquina, realidade virtual e inteligência artificial (Queiroz et al., 2022). As técnicas da Indústria 4.0 têm a capacidade de reduzir os custos com energia, equipamentos e recursos humanos, proporcionando às pequenas e médias empresas a capacidade de monitorar continuamente a utilização de seus maquinários, demanda de energia e treinamento de pessoal (Kumar et al., 2020). Atualmente, as grandes empresas buscam ativamente utilizar as tecnologias da I4.0, contudo, apenas uma fração das pequenas e médias está implementando essas tecnologias, devido a falta de capital, qualificação de pessoal e incerteza em alcançar altos benefícios representam uma barreira comum entre estas empresas (Spaltini et al., 2021).

6.2.3 As tecnologias da Industria 4.0 potencializando a Economia Circular

As tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0) e a Economia Circular (CE) são tópicos amplamente discutidos e têm ganhado interesse global, Embora sejam frequentemente considerados como campos de pesquisa independentes, há sobreposição entre estes constructos (Rosa et al., 2019) As tecnologias da Indústria 4.0 desempenham papéis essenciais no suporte e avanço da economia circular, oferecendo benefícios como melhoria na tomada de decisão, aumento da eficiência, redução de impactos ambientais, estímulo ao consumo consciente e colaboração entre os envolvidos (Silva & Sehnem, 2022a; Silva & Sehnem, 2022b). As tecnologias da Indústria 4.0 têm o potencial de apoiar a transição para a economia circular, oferecendo oportunidades para a adoção de práticas mais sustentáveis e eficientes, além de impulsionar a inovação e a otimização dos processos produtivos (Kumar, et al., 2020). Na tabela 6.1 é apresentado estas relações, com base nos autores citados:

Tabela 6.1 - Tecnologias da Indústria 4.0 e a Economia Circular

Tecnologia da I4.0	Potencialização da EC	Autores
Armazenamento de energia	Apoia a Economia Circular em aspectos como eficiência energética em edifícios, melhorias em processos Indústrias, redução de custos em transporte e maior performasse industrial	Olabi (2019)
Automação	Desempenha um papel crucial no desenvolvimento de práticas comerciais éticas na economia circular, permitindo a implementação eficaz de estratégias sustentáveis, como também apoia a redução dos custos totais e do consumo de energia elétrica nos processos produtivos	Rajput & Sing, (2020)
Big Data	Facilita e apoia o processo de tomada de decisão em processo circulares de todos os stakeholders, permitindo a integração de conjuntos de dados diversos e impulsionar interações físicas e cibernéticas	Spaltini et al., (2021); Chauhan et al., (2022);
Biotecnologia	Acelera a transição para a economia circular, principalmente em questões do ciclo de vida do dos produtos, como o uso de matérias-primas renováveis, o desenvolvimento de produtos químicos e materiais inovadores, melhoria de design, aumento de potencial de compostabilidade e o uso da biologia para reciclar resíduos e reintroduzir carbono nos fluxos de materiais no final de deste ciclo	Schilling & Weiss, (2021)
Computação na nuvem	Permite o armazenamento e compartilhamento de dados entre os stakeholders ao longo da cadeia de suprimentos. Apoia também a redução de custos, otimização do uso de recursos e facilita a colaboração entre os stakeholders, como também a virtualização de servidores e a eficiência energética dos data centers contribuem para a implementação de práticas circulares.	Filho et al., (2022); Spaltini et al., (2021)
Dispositivos móveis	Demostra um papel importante na aplicação da economia circular, pois oferece conectividade e diversas aplicações,	Faria et al., (2020)

	promovendo a reutilização, reciclagem e design sustentável, contribuindo para a redução do impacto ambiental permitindo o compartilhamento de informações e o envolvimento dos consumidores, incentivando práticas mais conscientes e responsáveis	
Dispositivos por rádio frequência (RFID)	Apoia as organizações na redução do tempo de aquisição de matérias primas, otimizando assim o tempo de uso dos materiais	Awan et al., (2022)
Geolocalização	Apoia a Economia Circular ao fornecer informações sobre a produção, transporte e tratamento de resíduos, permitindo a tomada de decisões informadas e garantindo o suprimento adequado de materiais	Sileryte et al., (2022)
Integração de sistemas	Facilita o acesso aos dados, permitindo a colaboração entre diferentes stakeholders, oferecendo oportunidades para atividades de reciclagem e o redesenho de produtos e processos	Neri et al., (2023)
Inteligência artificial (IA)	Impulsiona a adoção de abordagens regenerativas no design e na otimização circular, melhorando a produtividade e facilitando a tomada de decisões gerenciais com base em padrões ocultos. Além disso, sistemas baseados em IA auxiliam na classificação de materiais, segregação adequada e análise de planejamento para minimizar problemas	Chauhan et al., (2022); Khan et al., (2022)
Realidade aumentada	Suporta a estratégia de virtualização promovida dentro do framework ReSOLVE para práticas da Economia Circular	Bressanelli et al., (2022)
Robôs autônomos	Apoia a automação do processo de produção, principalmente na desmaterialização de produtos e atividades, como também podem ser usados em atividades relacionadas na recuperação e reciclagem de materiais, como também a ajuda para a adequação para uso industrial em ambientes arriscados; maior versatilidade, ética e sustentabilidade das operações de fabricação	Neri et al., (2023); Kumar, et al., (2020).
Simulação	Rastreia e preve o fluxo de material ao longo da cadeia de suprimentos, esta tecnologia é crucial para as atividades de desmontagem	Tiwari et al., (2021); Sassanelli et al., (2021)

6.2.4 As tecnologias da Indústria 4.0 na Economia Circular através do engajamento stakeholders

A inovação desempenha um papel fundamental na competitividade das organizações, sendo vista como uma fonte geradora de valor perante o mercado e os concorrentes (Sehnem et al., 2021). Nesse sentido, a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 em conjunto com a Economia Circular pode gerar ecossistemas produtivos inovadores, ativos inteligentes e uma série de novidades para o mercado. Essa abordagem representa uma evolução em relação aos negócios tradicionais, com o potencial de revolucionar a sociedade, desde que haja uma disseminação em escala dessas alternativas, como também a Economia Circular requer que as

empresas repensem a criação de valor e os relacionamentos com os stakeholders (Tapaninaho & Heikkinen, 2022). Sendo assim, as práticas de Economia Circular requerem engajamento com stakeholders (Marcon et al., 2023).

A escalabilidade, o lastro e a capilaridade surgem como alternativas fundamentais para a redução de custos de equipamentos e tecnologias, além de contribuírem para a redução do consumo de energia, fornecimento circular e aumento da eficiência no trabalho, estas estratégias ativam a Economia Circular ao criar sistemas ágeis e precisos, gerando métricas de circularidade, dados para a tomada de decisão homem-máquina e ativos inteligentes (Silva & Sehnem, 2022a). As tecnologias da Indústria 4.0 surgiram como ferramentas fundamentais para impulsionar a transição circular nas organizações industriais, oferecendo benefícios como o aumento da transparência e visibilidade nos processos, aprimoramento na coleta de dados, maior eficiência no uso de recursos e promoção do design circular (Neri et al., 2023).

Uma organização não deve apenas buscar maximizar o lucro, mas também considerar os interesses de todas as partes interessadas (Freeman, 2010). Os stakeholders são grupos ou indivíduos que podem afetar ou serem afetados pelos propósitos de uma organização (Freeman, 1984). Esses stakeholders possuem ou reivindicam propriedade, direitos ou interesses na corporação (Clarkson, 1995). Eles podem ser classificados como primários, cuja participação é imprescindível para o funcionamento da empresa, como funcionários, fornecedores, consumidores e acionistas/investidores, e secundários, que não estão envolvidos em transações com a empresa, mas oferecem suporte externo, como governos, universidades, comunidades e organizações não governamentais (ONGs).

Considerar a sociedade e a natureza como partes interessadas na empresa é de extrema importância (Stubbs & Cocklin, 2008). Através do envolvimento ativo dos stakeholders, as estratégias bem-sucedidas são baseadas na integração de todos os envolvidos, em vez de favorecer um grupo específico em detrimento dos demais (Han et al., 2023), sob uma perspectiva sistêmica (Denter et al., 2023).

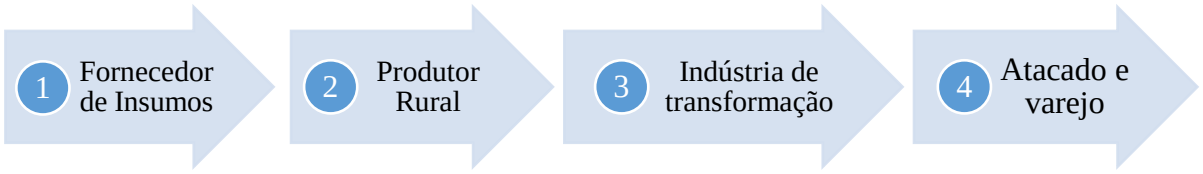
Esta seção apresentou os conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 relacionados à economia circular. Foi destacada a importância da Economia Circular como uma abordagem para enfrentar esses desafios, visando a maximização do uso de recursos e a redução do desperdício. Além disso, foram apresentadas as tecnologias que desempenham um papel fundamental no avanço da economia circular. Essas tecnologias oferecem oportunidades para uma melhor tomada de decisão, previsões mais precisas, otimização de processos e maior engajamento dos stakeholders. Na próxima seção, é apresentada a metodologia adotada neste

estudo, incluindo os métodos de coleta e análise de dados, bem como as etapas do processo de pesquisa.

6.3 Método de pesquisa

Para atender os objetivos propostos neste estudo, realizamos uma pesquisa qualitativa exploratória, através estudos de múltiplos casos (Yin, 2002), usando análises dentro do caso e entre casos para encontrar padrões, semelhanças e possíveis contradições, através da amostragem teórica conforme os autores Eisenhardt & Graebner (2007). Aplicamos uma abordagem indutiva para identificar a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 para impulsionar a Economia Circular em foodtechs brasileiras, sob a perspectiva dos stakeholders. Buscamos para isto foodtechs de diferentes classificações na cadeia produtiva de alimentos, conforme classificação descrita na Figura 6.1.

Figura 6.1 - Classificação das foodtechs



A originalidade deste estudo toma como base as lacunas teóricas já levantadas anteriormente nos estudos de Silva & Sehnem (2022a) e Silva & Sehnem (2022b); onde se verificou que existem temas de pesquisa ainda não abordados sobre as interpelações entre as tecnologias da Indústria 4.0 e a Economia Circular, através do engajamento dos stakeholders. No entanto, alguns estudos com escopo semelhante podem ser listados, a saber:

(a) o estudo de Hamam et al. (2021) apresenta uma revisão sistemática da literatura sobe Economia Circular nos sistemas agroalimentares, com o objetivo de compreender as suas principais características e perspectivas;

(b) o estudo de Ferrari et al. (2023) busca contribuir, por meio de um estudo exploratório em ecossistemas circulares, a identificação e análise das relações entre os diferentes atores de produtores de alimentos orgânicos;

(c) Neri et al. (2023) oferecem uma análise empírica exploratória em 10 pequenas e médias empresas industriais italianas de como as tecnologias digitais podem apoiar a implementação de práticas de economia circular;

(d) Awan et al. (2022) descreve uma revisão sistemática de literatura sobre a relação entre a EC a as tecnologias da I4.0 dentro das atividades da cadeia de valor

(e) o estudo de Massaro et al. (2020) investiga a conexão entre a Indústria 4.0 e a Economia Circular, destacando a necessidade de estabelecer espaços de troca de conhecimento entre acadêmicos e profissionais para explorar essa união destes constructos.

6.3.1 Seleção de amostra e coleta dos dados

A seleção da amostra é intencional, derivado dos dois principais banco de dados de startups brasileiras: (i) o Startup Scanner que é uma plataforma brasileira que mapeia e acompanha o ecossistema de startups, oferecendo informações e recursos para investidores, empreendedores e entusiastas e (ii) o ABStartups que é uma associação brasileira que promove o desenvolvimento e o fortalecimento do ecossistema de startups no país, por meio de programas, eventos e conexões entre empreendedores e investidores. A seleção da amostra foi efetuada em três momentos distintos.

Na primeira etapa foram enviados 127 convites via ligação telefônica, e-mail, Whatsapp, mensagens no Linkedin, Instagram e Facebook, entre o período de maio e junho de 2023. Neste convite foi enviado o link do questionário no Google Forms apresentado no Apêndice. Na segunda etapa, com um total de 13 questionários respondidos, selecionamos as foodtechs que já possuem internalizado alguma tecnologia da Indústria 4.0, que possuem ações de Economia Circular em seus processos e também que se enquadraram na classificação mercadológica previamente estabelecida para este estudo: fornecedores de insumos, produtor rural, Indústria de transformação ou atacado e varejo. Para corroborar com as respostas, foram verificados, em paralelo, os sites e mídias sociais destas empresas, buscando evidências do apresentado nas respostas dos questionários. Na terceira etapa, efetuamos o convite para uma entrevista on-line para aprofundamento desta pesquisa, onde oito empresas aceitaram participar deste estudo, para esta etapa foi utilizando o mesmo questionário como guia.

Os dados tabulados e categorizados emergiram da analise empírica (categorização a posteriori). Esta análise se baseou no referencial teórico a cerco dos constructos deste estudo. Esta etapa buscou identificar os principais stakeholders, as principais práticas de Economia Circular e as principais tecnologias da Indústria 4.0 citadas pelas foodtechs.

6.3.2 Análise de dados

Para manter o anonimato das foodtechs pesquisadas, seus nomes foram suprimidos e codificados com números de 1 a 8, conforme Tabela 6.2, onde apresentamos a identificação (ID), as características das foodtechs, o cargo do entrevistado e a classificação da empresa. As entrevistas realizadas foram gravadas mediante a aprovação dos entrevistados. Após, cada

entrevista foi transcrita com o auxílio do software *Transkriptor* e em seguida revisadas para adequação à fala do entrevistado. As 8 transcrições geradas a partir de 5 horas, 9 minutos e 47 segundo s de gravação, resultaram em 48.619 palavras.

Tabela 6.2 - Apresentação das foodtechs objeto do estudo

ID	Característica	Entrevistado(a)	Classificação
1	Empresa localizada no estado do Pará, se dedica à valorização das matérias-primas da Amazônia, utilizando tecnologia e inovação. Seu foco está na extração sustentável de óleos e manteigas naturais, provenientes de cultivos de cupuaçu, cacau e maracujá, colaborando com comunidades locais e empresas do setor alimentício.	Proprietário	2, 3 e 4
2	Produtora de alimentos congelados, sem glúten e com ingredientes naturais, oriundos principalmente de produtores locais. Localizada no estado de Minas Gerais, é uma foodtechs com pegada de carbono neutralizada, com engajamento feminino e compensação de 100% das embalagens utilizadas.	Diretora operacional	3 e 4
3	Empresa de produtos Plant Based feitos de PANC - Plantas Alimentícias Não Convencionais, localizada no estado de São Paulo, que integra a biodiversidade e agricultura familiar ao mercado consumidor. Utilizam matérias-primas orgânicas oriundas da agroecologia.	Sócia proprietária	2 a 4
4	Empresa localizada em São Paulo, oferece soluções sustentáveis em embalagens, objetivando a minimização do desperdício de alimentos. O seu produto é o pano de cera, que utiliza a base natural de cera de abelha, aplicada em tecido, gerando assim um produto sustentável que aumenta a duração e conservação dos alimentos.	Proprietária	1
5	Foodtech produtora de sopas e risotos saudáveis e com ingredientes naturais, localizada no estado de Santa Catarina. Seu produto é fácil e acessível para uma alimentação rápida, mas com qualidade, sem conservantes e com sabor. Comercializa seus produtos através de portal próprio de vende a também por lojas especializadas.	Sócia proprietária	3 e 4
6	Localizada no estado do Pará, é uma foodtechs de impacto socioambiental que transforma ingredientes da Amazônia em alimentos naturais, saudáveis e inovadores, como temperos, granolas, farinhas e sementes. Utilizam a cultura local e sua biodiversidade, através da tecnologia e o desenvolvimento de cadeias produtivas.	Sócia proprietária	3 e 4
7	Empresa de produção agroecológica comprometida com a sustentabilidade e a agricultura familiar, localizada em São Paulo, oferece produtos como sucos, chocolates, açúcar mascavo, etc., através de um modelo de negócios que promove a biodiversidade, o comércio justo e o desenvolvimento socioeconômico rural, através da conexão do campo à mesa.	Diretor Comercial	1 a 4
8	Foodtech localizada em Minas Gerais, produz alimentos saudáveis e adequados para pessoas com restrições alimentares. Inspirada pela cozinha local, oferece uma variedade de produtos fáceis de preparar e prontos para serem compartilhados. É uma	Sócio proprietário	3

	empresa familiar que valoriza e apoia iniciativas de inclusão alimentar, garantindo produtos de alta qualidade.		

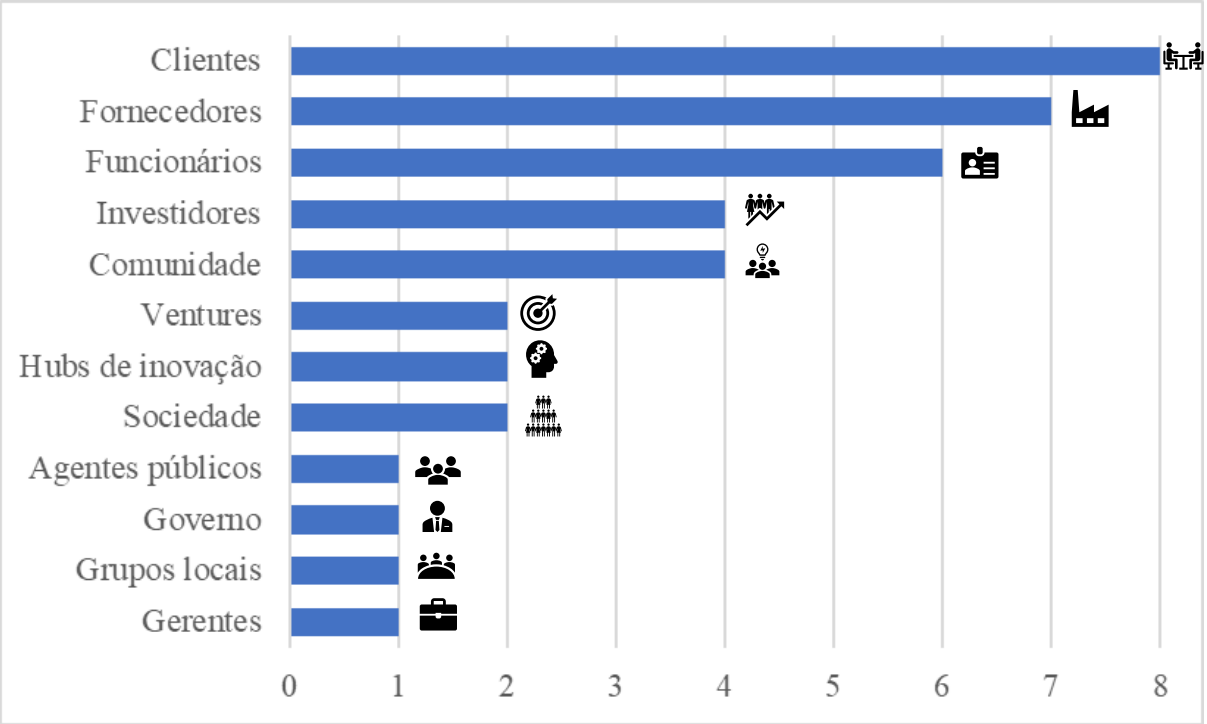
Sendo assim, os dados coletados foram analisados qualitativamente seguindo as etapas descritas por Bardin (2016). Esta autora propõe um conjunto de técnicas para analisar e sistematizar as comunicações, permitindo a interpretação e descrição do conteúdo das mensagens. Esse método é dividido em três etapas: i) pré-análise; ii) exploração do material gerado; e (iii) tratamento dos resultados obtidos, com o objetivo de coletar as inferências e realizar sua interpretação. Na etapa de pré-análise, os pesquisadores tiveram contato com os documentos, ou seja, as transcrições das entrevistas, através de uma leitura flutuante. Os resultados dessa análise são apresentados na seção seguinte.

6.4 Apresentação dos resultados

Nesta seção, são descritos os resultados deste estudo, apresentando uma visão geral das respostas dos questionários e detalhando os resultados obtidos por meio das entrevistas realizadas. A seção é dividida em dois tópicos principais: as práticas de Economia Circular e as tecnologias da Indústria 4.0, com a identificação dos principais stakeholders envolvidos. Esses achados fundamentam o objetivo deste estudo, que é identificar a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 para impulsionar a Economia Circular em foodtechs brasileiras, sob a perspectiva dos stakeholders.

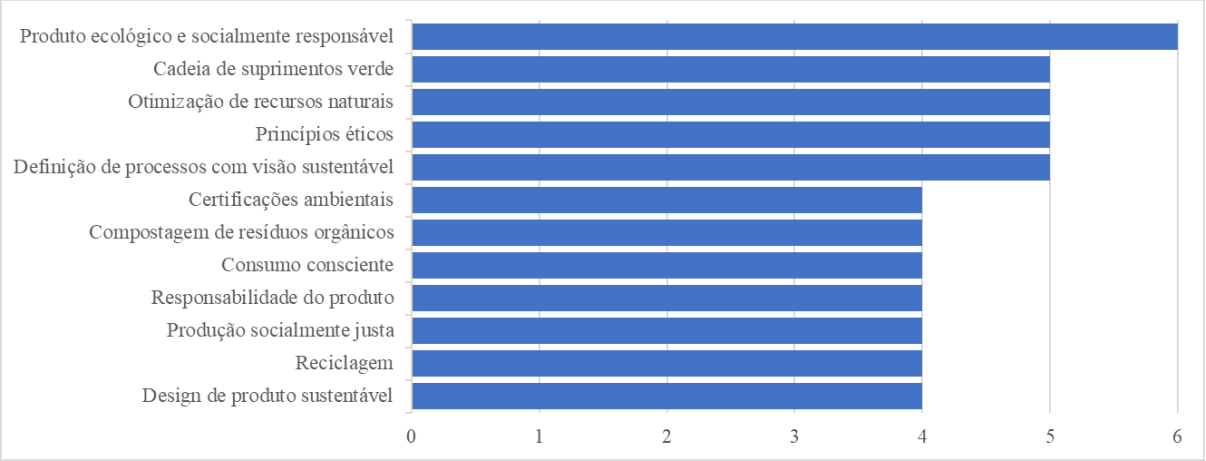
Primeiramente, são apresentados os resultados obtidos em relação aos stakeholders mais importantes para as foodtechs, conforme citado no questionário enviado. Os participantes foram questionados sobre sua área de atuação atual e identificaram uma variedade de stakeholders relevantes para as foodtechs. Entre os principais stakeholders mencionados estão os clientes, fornecedores e colaboradores, indicando a importância do envolvimento dessas partes interessadas para o sucesso das foodtechs. Além disso, destaca-se a presença da comunidade e dos investidores como stakeholders relevantes. A Figura 6.1 demonstra esses stakeholders, bem como os ícones que identificam essas partes interessadas neste estudo.

Figura 6.1 - Stakeholders citados pelas foodtechs e ícones de identificação



No questionário respondido, foi possível identificar as principais práticas de Economia Circular mencionadas pelas foodtechs. Entre essas práticas, destacam-se aquelas que receberam 4 ou mais citações. Uma das práticas mais mencionadas é a adoção de produtos ecológicos e socialmente responsáveis. Outra prática comum é a definição de processos com uma visão sustentável. O design de produtos sustentáveis também foi mencionado por várias foodtechs. A reciclagem é uma prática importante adotada pelas foodtechs. Outras práticas mencionadas incluem a reutilização interna de resíduos, a produção socialmente justa, o empoderamento das mulheres, o consumo consciente, a eficiência energética, a compostagem de resíduos orgânicos, a logística reversa, a inclusão social e a obtenção de certificações ambientais. Na figura 6.2, são apresentadas as práticas com mais de quatro citações.

Figura 6.2 - Principais práticas de Economia Circular citadas pelas foodtechs



Na etapa de entrevistas, foram identificadas as práticas de Economia Circular adotadas pelas foodtechs. Nessa fase do levantamento de dados, foi obtido um maior detalhamento e compreensão dessas ações, visando atender ao objetivo de pesquisa. A Tabela 6.3 apresenta as principais práticas identificadas nas foodtechs pesquisadas, descrevendo também os stakeholders envolvidos nessas iniciativas circulares. Através dessa tabela, é possível visualizar de forma clara as estratégias adotadas pelas foodtechs para promover a sustentabilidade, maximizar o uso eficiente dos recursos e engajar diversos atores no processo de economia circular.

Tabela 6.3 - Principais Práticas de Economia Circular e Stakeholders Envolvidos

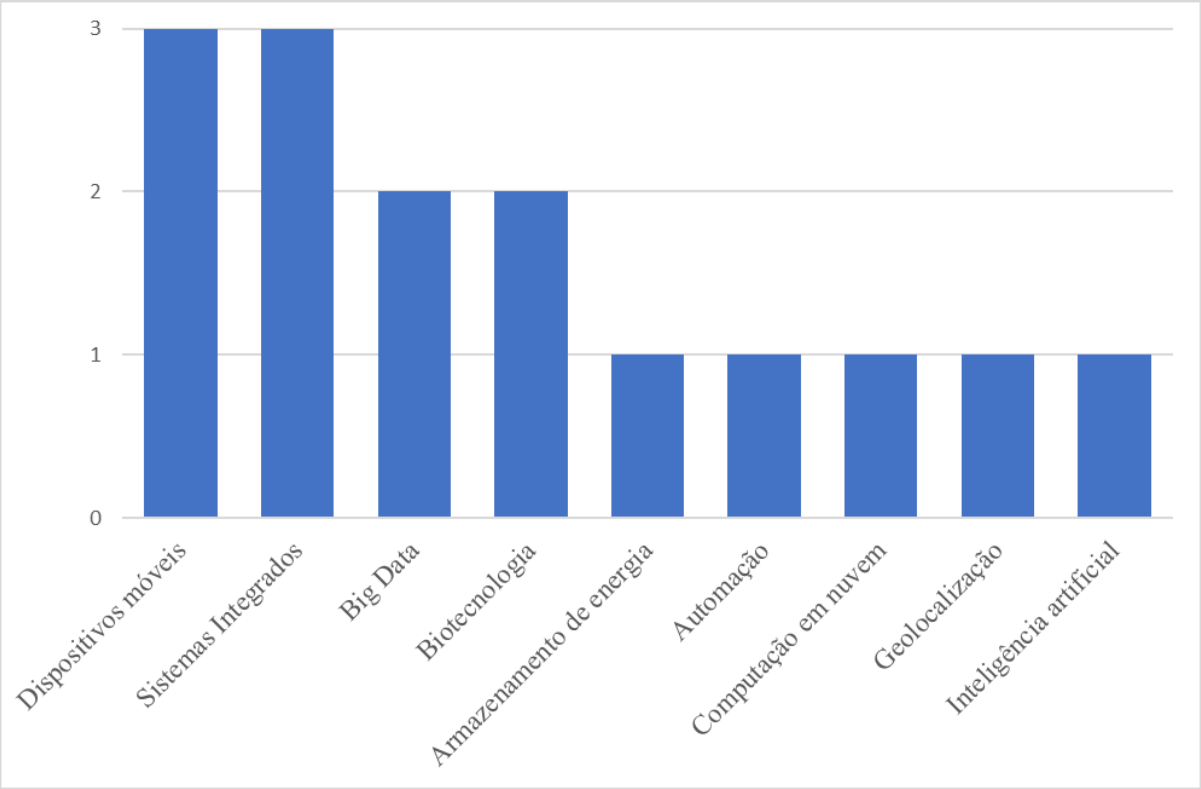
ID	Pratica da Economia Circular	Descrição	Stakeholders
1	Extração sustentável de óleos e manteigas naturais	Busca maximizar o valor dos recursos ao longo do ciclo de vida	
	Colaboração com comunidades locais e outras empresas do setor alimentício	Promove a inclusão social e fortalece a economia local	
	Agregação de valor às sementes e evitando desperdícios	Aproveita integralmente as sementes com técnicas inovadoras	
	Utilização de embalagens metalizadas e plásticos biodegradáveis	Explora parcerias para desenvolver embalagens a partir de subprodutos	
	Implementação de energia solar	Utiliza energia solar em seu novo galpão	
	Construção sustentável	Está construindo um prédio que reutiliza água e energia solar	
	Padronização de produtos	Busca padronizar os produtos para garantir a qualidade	
2	Parceria para destinação adequada de resíduos	Realiza a coleta e destinação adequada de resíduos em parceria com uma empresa	

	Incentivo ao consumo consciente	Promove a utilização responsável de recursos e a minimização do desperdício	
	Uso de energias renováveis	Utiliza energias renováveis e reduz as emissões de carbono	
	Inclusão social e diversidade	Valoriza a inclusão social e promove a diversidade em seu ambiente de trabalho	
3	Redesign de produtos	Transforma plantas consideradas pragas em produtos de alto valor agregado	
	Desperdício zero	Busca minimizar o desperdício em seu processo produtivo	
4	Participação em acelerações e ecossistemas de inovação	Busca estar atualizada e envolvida com práticas de economia circular	
	Apoio a iniciativas de economia circular	Participa de programas e iniciativas de organizações reconhecidas (Ellen MacArthur Foundation)	
5	Compra de matéria-prima saudável	Adquire matéria-prima sem aditivos prejudiciais à saúde	
	Coleta seletiva de resíduos	Realiza a coleta seletiva de materiais recicláveis	
	Processo produtivo com baixa geração de resíduos	Minimiza a geração de resíduos e o uso de água	
	Marketing verde	Destaca a sustentabilidade nas embalagens	
6	Ingredientes da biodiversidade amazônica	Desenvolve produtos com ingredientes amazônicos em parceria com universidades e fornecedores locais	
	Desenvolvimento de fornecedores sustentáveis	Promove a consciência ambiental e a regularização de pequenos produtores e extrativistas	
	Participação em rede de suprimentos da Amazônia	Faz parte de uma rede que supre produtos de regiões distantes da Amazônia	
	Diversificação de matérias-primas	Garante a sustentabilidade ambiental e evita a dependência de um único insumo	
	Valorização dos pilares da sustentabilidade	Concilia o crescimento do negócio com a preservação da biodiversidade e o desenvolvimento da região amazônica	
7	Produtos agroecológicos	Oferece produtos livres de transgênicos e agrotóxicos, com certificação orgânica	
	Impulsionamento da economia circular	Conecta cooperativas e produtores rurais ao varejo tradicional	
	Logística reversa de embalagens	Realiza a logística reversa de embalagens em parceria com uma empresa específica	
	Design circular	Considera a circularidade desde a concepção do produto	

	Destaque para impacto social nas embalagens	Informa sobre o impacto social do produto e o envolvimento de famílias na cadeia produtiva	
8	Produtos saudáveis e livres de aditivos	Oferece produtos livres de conservantes, corantes, aditivos e alergênicos	
	Utilização de embalagens biodegradáveis	Utiliza embalagens biodegradáveis para promover a circularidade	
	Plataforma de logística reversa e doação de resíduos	Utiliza uma plataforma específica para logística reversa e doação de resíduos	

Com base nos dados fornecidos pelas foodtechs no questionário, foi possível identificar as principais tecnologias da Indústria 4.0. Entre as tecnologias mencionadas, algumas se destacaram por terem sido citadas por três foodtechs, indicando sua relevância e adoção no setor. Os dispositivos móveis, como smartphones e tablets, foram destacados por três foodtechs, evidenciando seu papel fundamental como ferramentas essenciais nas operações dessas empresas. Além disso, a importância dos sistemas integrados também foi mencionada por três foodtechs, ressaltando a adoção desses sistemas para uma gestão eficiente e conectada das atividades. Outras tecnologias mencionadas incluem o armazenamento de energia, a automação, o Big Data, a biotecnologia, a computação em nuvem, a geolocalização e a inteligência artificial, cada uma delas citada por uma ou duas foodtechs. Esses resultados são apresentados na Figura 6.3, fornecendo insights valiosos sobre as tecnologias da Indústria 4.0 adotadas pelas foodtechs participantes do estudo.

Figura 6.3 - Principais tecnologias da Indústria 4.0 citadas pelas foodtechs



Na continuidade da análise das foodtechs, a Tabela 6.4 apresenta de forma detalhada as Tecnologias da Indústria 4.0 identificadas durante as entrevistas realizadas. Nessa tabela, são listadas 19 tecnologias utilizadas pelas empresas, abrangendo desde o sensoriamento e monitoramento online de parâmetros de produção até o uso de dispositivos móveis e aplicativos para gestão de equipes e funil de vendas. Além disso, a tabela também destaca a relação entre cada tecnologia e os stakeholders envolvidos em sua implementação, evidenciando a abrangência e importância dessas tecnologias para as foodtechs.

Tabela 6.4 - Tecnologias da Indústria 4.0 e Relação com os Stakeholders

ID	Tecnologias da Indústria 4.0	Stakeholders
1	Sensoriamento e monitoramento online de parâmetros de produção	
	Através da computação na nuvem efetuará o monitoramento de múltiplas usinas com operação remota	
	Rastreabilidade através do RFID e QR Code	
	A comunicação com os sistemas dos fornecedores e clientes é efetuada através somente de dispositivos móveis	
2	Utiliza placas solares para geração de energia e baterias para armazenamento	
	Automação da linha de produção	
	Big data para obter informações sobre as vendas em tempo real e cruzar dados com CPF dos clientes	

	Utiliza máquinas automatizadas em sua linha de produção para aumentar a eficiência, reduzir erros e otimizar o fluxo de trabalho	
	Adota sistemas integrados, com um sistema ERP (Enterprise Resource Planning), que gerencia os processos de compras, produção e controle de estoque remotamente	
3	Utiliza o Big Data para unificar os processos e conhecimentos adquiridos ao longo do tempo, para que a empresa comece a operar rapidamente e obter resultados	
	Aplicativo próprio para comercialização de seus produtos	
	Utilização da inteligência Artificial para entender as flutuações e preferências dos clientes	
4	Está desenvolvendo uma máquina automatizada, em parceria com o um órgão público, para ampliar a capacidade de produção	
5	Uso da Inteligência Artificial para criação de conteúdo, treinamentos internos e geração de ideias	
	Utiliza a virtualização de processos e sistemas de gestão empresarial (ERP) para otimizar suas operações, principalmente de logística	
6	Utiliza a Internet das Coisas (IoT) e a inteligência artificial para otimizar processos de produção, reduzir desperdícios e identificar oportunidades de economia de recursos	
	Está em um estágio inicial de implementação de ERP na nuvem	
7	Utiliza dispositivos móveis e tecnologias para gestão de equipes e funil de vendas, objetivando a otimização do processo de vendas e para acompanhamento e gestão de clientes	
	Utiliza o QR Code e outras tecnologias de rastreabilidade para melhorar a eficiência da cadeia produtiva, desde o planejamento da produção até a chegada do produto ao estoque	
8	Uso de dispositivos móveis e destaca sua relevância para identificar informações, como a distribuição geográfica dos produtos, para facilitar a logística reversa e a destinação adequada de resíduos	

Nesta seção, foram descritos os principais achados deste estudo, abordando tanto as práticas de Economia Circular adotadas pelas foodtechs brasileiras, como também as tecnologias da Indústria 4.0 que estão sendo utilizadas. Foi possível identificar os stakeholders mais relevantes para essas empresas, bem como as práticas e tecnologias que têm impulsionado a transição para uma economia mais circular. Agora, na próxima seção de Discussão dos Resultados, visando aprofundar nossa compreensão sobre a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 para impulsionar a Economia Circular no contexto das foodtechs brasileiras, sob a perspectiva dos stakeholders.

6.5 Discussão dos resultados

Na seção anterior, foi apresentado os resultados deste estudo. Nesta apresentação, primeiramente foi descrito os resultados gerais com base no questionário de pesquisa respondido pelas oito foodtechs. Na sequência, foi detalhado, por meio das entrevistas realizadas, a interseção dos temas de pesquisa. Este detalhamento e maior aprofundamento é

descrito nesta seção de discussão de resultados. Primeiramente é apresentada a análise sobre o engajamento dos stakeholders no processo de maximização da EC via tecnologias da I4.0. Na segunda subseção são apresentados os achados acerca da relação entre estes dois constructos nas foodtechs pesquisadas. Por fim, são descritas as principais tecnologias da I4.0 atuando como motivadores para a Economia Circular através do engajamento dos stakeholders.

6.5.1 O engajamento dos stakeholders para adoção das tecnologias da Industria 4.0 para impulsionar a Economia Circular

Esta subseção descreve a importância do engajamento dos stakeholders no contexto da adoção das tecnologias da Indústria 4.0 para potencializar a Economia Circular nas foodtechs estudadas. Na Foodtech 1, o engajamento dos stakeholders é evidente por meio da colaboração com comunidades locais e outras empresas do setor alimentício, promovendo a inclusão social e fortalecendo a economia local. Esse engajamento está alinhado com a visão de Freeman (1984) sobre os stakeholders como aqueles que podem afetar ou serem afetados pelos propósitos da organização. Contudo na Foodtech 2, o valor atribuído aos diversos stakeholders, como ONGs, comunidade de clientes, fornecedores, funcionários, investidores e sociedade, reflete o reconhecimento da importância do engajamento desses atores para impulsionar a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 e promover a Economia Circular, este engajamento alinha-se com a visão de Clarkson (1995) sobre os stakeholders que oferecem suporte externo à empresa.

Já na Foodtech 3, o engajamento com stakeholders externos, como organizações e iniciativas do setor, é demonstrado por meio da participação em acelerações e da conexão com o ecossistema de inovação, este envolvimento com diferentes atores da cadeia de valor está alinhado com a visão de Freeman (1984) sobre os stakeholders que podem afetar ou serem afetados pelos propósitos da organização. Contudo, na Foodtech 6, o engajamento dos stakeholders locais, como cooperativas e produtores rurais, é valorizado para promover uma cadeia de valor sustentável, estes achados estão alinhados com a visão de Freeman (1984) sobre os stakeholders que podem afetar ou serem afetados pelos propósitos da organização. Cabe ressaltar que foi enumerado os principais achados nas foodtechs, sendo que em algumas destas empresas pesquisadas, o engajamento das partes interessadas não foi tão evidente.

As foodtechs apresentam diferentes abordagens em relação à adoção da Economia Circular e das tecnologias da Indústria 4.0, de acordo com suas classificações. Enquanto algumas foodtechs estão engajadas em práticas circulares, inovação e parcerias com outros stakeholders, outras estão no processo de implementação de tecnologias avançadas e

pivotamento de seus modelos de negócio. Esse engajamento dos stakeholders, como produtores rurais, Indústrias de transformação, atacado e varejo, é essencial para impulsionar a transição para Economia Circular. Essa relação entre as diferentes foodtechs possui relação com o nível meso da Economia Circular, onde são criadas iniciativas onde há a possibilidade de efetuar práticas de simbiose industrial, redes industriais e mercados de comércio de resíduos desempenham um papel essencial (Ghisellini et al., 2016).

As ações colaborativas envolvem a participação de diferentes stakeholders ao longo da cadeia de suprimentos circular, como fornecedores, clientes e instituições governamentais. No entanto, a implementação da EC também apresenta desafios, como a necessidade de mudanças culturais e a superação de barreiras regulatórias. Nesse sentido, a colaboração estreita com os diferentes stakeholders é fundamental para o sucesso da transição para um modelo de negócio mais circular (Khan et al., 2022). Portanto, as foodtechs analisadas podem buscar parcerias estratégicas com fornecedores, colaboradores, clientes e a sociedade em geral, promovendo ações conjuntas que impulsionem a adoção da EC ao longo da cadeia de suprimentos.

6.5.2 Relação entre a Economia Circular e as tecnologias da Indústria 4.0 nas foodtechs pesquisadas

Nesta subseção apresentamos as principais relações identificadas, individualmente por foodtechs pesquisada, entre as práticas de Economia Circular e as tecnologias da Indústria 4.0, com foco na observação do posicionamento destas organizações dentro de seu segmento de atuação. A Foodtech 1 busca valorizar as matérias-primas da Amazônia, adotando tecnologia e inovação de forma sustentável, o que está alinhado com os princípios da Economia Circular, que busca maximizar o valor dos recursos naturais ao longo de seu ciclo de vida (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Além disso, a empresa colabora com comunidades locais e outras empresas do setor alimentício, promovendo a inclusão social e fortalecendo a economia local, o que está relacionado ao aspecto social da sustentabilidade (Barros et al., 2020).

A Foodtech 2 está buscando adotar tecnologias da Indústria 4.0, como presença digital e uso de redes sociais, para impulsionar seu crescimento, esta busca por inovação e adoção de tecnologias está alinhada com o objetivo da Indústria 4.0 de melhorar o desempenho da produção, processos e modelos de negócios (Beltrami et al., 2021). Já a Foodtech 3 está engajada em práticas de economia circular, participando de programas e iniciativas relevantes nessa área, objetivando a busca por um novo relacionamento com os bens e materiais, visando economizar recursos e energia (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Além desta iniciativa, a empresa está desenvolvendo uma máquina automatizada em parceria com um órgão público, o

que está relacionado ao uso de tecnologias da Indústria 4.0 para impulsionar a Economia Circular (Geissdoerfer et al., 2018).

A Foodtech 4 está adotando o sensoriamento, monitoramento online, automação e softwares de gestão, para otimizar seus processos produtivos e reduzir desperdícios, buscando eficiência e otimização dos recursos, o que corrobora com o apresentado por Webster (2015). Como também, a empresa está investindo em sistemas integrados, como ERPs, o que pode ser relacionado ao aspecto de integração e conectividade da Indústria 4.0 (Rajput & Singh, 2020). Já a Foodtech 5 utiliza tecnologias inovadoras, como técnicas avançadas de fermentação, para produzir substitutos de carne e laticínios à base de plantas, sendo que esta constante busca por alternativas sustentáveis e tecnologicamente avançadas está relacionada aos princípios da Economia Circular, que visa maximizar a utilidade de produtos e materiais (Awan et al., 2022). Além disso, a empresa está atendendo à demanda de consumidores conscientes em relação ao meio ambiente e à saúde, o que está alinhado com a busca por alimentos mais saudáveis e com a saudabilidade proposta pela Indústria 4.0 (Beltrami et al., 2021).

A Foodtech 6 está focada em promover a segurança alimentar por meio de soluções tecnológicas inovadoras, estas tecnologias visam melhorar a rastreabilidade dos alimentos e garantir sua autenticidade, o que está relacionado ao aspecto de controle e processamento de informações em tempo real da Indústria 4.0 (Rajput & Singh, 2020). Além disso, a busca por segurança alimentar e prevenção de fraudes está alinhada com a preocupação com a qualidade dos produtos e o respeito ao meio ambiente propostos pela Economia Circular (Hamam et al., 2022).

A Foodtech 7 utiliza um aplicativo para conectar estabelecimentos comerciais a consumidores interessados em adquirir alimentos excedentes a preços reduzidos. Essa abordagem está relacionada ao combate ao desperdício de alimentos, que é um dos objetivos da Economia Circular (Geissdoerfer et al., 2018). Além disso, a empresa realiza parcerias com ONGs e instituições de caridade, visando a doação de alimentos para pessoas em situação de vulnerabilidade social, o que está relacionado ao aspecto social da sustentabilidade proposto pela Economia Circular (Barros et al., 2020).

A Foodtech 8 busca oferecer alimentos saudáveis e sustentáveis, utilizando embalagens biodegradáveis e implementando uma plataforma de logística reversa e doação de resíduos. Essas práticas estão alinhadas com os princípios da Economia Circular, que visa reduzir o impacto ambiental e promover uma alimentação mais saudável (Esposito et al., 2020). Além disso, a empresa também está comprometida com a segurança alimentar, o que está relacionado

ao aspecto de controle e rastreabilidade dos alimentos proposto pela Indústria 4.0 (Rajput & Singh, 2020).

Essa análise mostra como as foodtechs estão adotando práticas relacionadas à Economia Circular e à Indústria 4.0, conforme verificado no referencial teórico e descrito, por constructo, na apresentação dos resultados. As empresas estão buscando a maximização do valor dos recursos naturais, a redução de desperdícios, o uso de tecnologias inovadoras, a melhoria da rastreabilidade dos alimentos e o engajamento com stakeholders relevantes. Essas práticas visam promover a sustentabilidade, a inclusão social, a segurança alimentar e a redução do impacto ambiental, em conformidade com os conceitos da Economia Circular e Indústria 4.0.

6.5.3 As tecnologias da I4.0 atuando como motivadores para a Economia Circular via engajamento dos stakeholders

A adoção das tecnologias da Indústria 4.0 são abordagens distintas nas foodtechs analisadas. Enquanto algumas empresas estão alinhadas com os princípios da Economia Circular e adotam tecnologias avançadas, como sensoriamento e monitoramento online de parâmetros, energia solar e automação de processos, outras estão em estágios iniciais de implementação dessas tecnologias, como o desenvolvimento de máquinas automatizadas em parceria com órgãos públicos. Essas tecnologias visam otimizar processos, melhorar a eficiência, reduzir desperdícios e promover a circularidade ao longo da cadeia de produção. No entanto, a adoção dessas tecnologias pode apresentar desafios relacionados aos altos custos, tanto no investimento inicial quanto na infraestrutura necessária para a sua plena operação. Na Tabela 6.5 é apresentado as práticas mais relevantes, através do uso das tecnologias da I4.0 para a potencialização da EC, através do engajamento das principais partes interessadas.

Tabela 6.5 - Tecnologias da Indústria 4.0 para maximização da EC através do engajamento dos Stakeholders

Prática	Tecnologia da I4.0	Maximização da EC	Stakeholders engajados	Autores Basilares
Extração sustentável de óleos e manteigas naturais	Automação e Big Data	A automação otimiza os processos de extração e filtragem, aproveitando integralmente as sementes. O Big Data auxilia na análise de dados para melhorar a eficiência e reduzir desperdícios		Olabi (2019)
Utilização de embalagens metalizadas e plásticos biodegradáveis	Biotecnologia	O design sustentável cria embalagens recicláveis ou biodegradáveis, reduzindo o impacto ambiental. Materiais inovadores permitem o desenvolvimento de embalagens mais sustentáveis		Schilling & Weiss (2021)
Implementação de energia solar	Automação	A energia solar reduz a dependência de fontes não renováveis, reduzindo as emissões de carbono através da automação que otimiza o uso da energia solar e melhora a eficiência energética		Filho et al. (2022)
Sensoriamento e monitoramento online de parâmetros de produção	Internet das Coisas (IoT) e Big Data	O sensoriamento e monitoramento online permitem o controle e a otimização dos parâmetros de produção, reduzindo desperdícios e garantindo a qualidade dos produtos. A análise dos dados coletados contribui para a melhoria contínua dos processos		Rajput & Sing (2020)
Utilização de sistemas integrados, como ERPs e softwares de gestão da cadeia de suprimentos	Integração de sistemas e computação na nuvem	A integração de sistemas facilita a colaboração entre os stakeholders ao longo da cadeia de suprimentos, permitindo atividades de reciclagem e redesenho de produtos e processos. O uso de sistemas na nuvem agiliza o compartilhamento de informações		Neri et al. (2023).
Rastreabilidade através do RFID e QR Code	Internet das Coisas (IoT) e Identificação por Radiofrequência (RFID)	O RFID e QR Code permitem o rastreamento dos alimentos ao longo da cadeia de produção, garantindo autenticidade e qualidade. A rastreabilidade evita fraudes, identifica problemas de qualidade e facilita recalls		Awan et al. (2022).
Aplicativo próprio para comercialização de produtos	Dispositivos móveis e aplicativos	O aplicativo conecta diretamente a empresa aos consumidores, facilitando a comercialização de produtos e promovendo práticas conscientes de consumo. Isso pode incentivar a redução do desperdício de alimentos e a valorização de produtos sustentáveis		Faria et al. (2020)

A colaboração entre empresas, governos e stakeholders é essencial para superar esses desafios e impulsionar a adoção das tecnologias da Indústria 4.0, promovendo a Economia Circular de forma mais efetiva. As foodtechs estão adotando uma variedade de ações e tecnologias relacionadas à Economia Circular e à Indústria 4.0. Essas ações incluem a utilização de matérias-primas sustentáveis, a implementação de energias renováveis, a adoção de embalagens biodegradáveis, o sensoriamento e monitoramento online de parâmetros de produção, a rastreabilidade por meio de RFID e QR Code, a integração de sistemas e o desenvolvimento de aplicativos móveis. Essas iniciativas visam maximizar a eficiência, reduzir desperdícios, promover a sustentabilidade e engajar os stakeholders ao longo da cadeia de valor dos alimentos. A interseção entre a Economia Circular e as tecnologias da Indústria 4.0 desempenha um papel fundamental na transformação dos modelos de negócio das foodtechs. Sendo assim, na última seção deste estudo, serão descritas as considerações finais deste estudo.

6.6 Considerações finais

Com base na análise dos resultados, foi possivel identificar que as foodtechs pesquisadas estão adotando gradualmente as tecnologias da Indústria 4.0 como meio de potencializar a Economia Circular em suas operações. Através do engajamento dos stakeholders, como fornecedores, funcionários, clientes e comunidades locais, essas empresas estão buscando inovação e eficiência em seus processos e ao longo da cadeia de valor dos alimentos. A implementação de tecnologias como automação, big data, biotecnologia, internet das coisas, computação na nuvem, integração de sistemas, RFID, dispositivos móveis a aplicativos e permite otimizar processos, reduzir desperdícios, melhorar a rastreabilidade e promover a colaboração entre os diferentes atores envolvidos. Essa abordagem reflete o compromisso das foodtechs em adotar práticas mais circulares, maximizando a utilidade de recursos, minimizando impactos ambientais e fortalecendo parcerias estratégicas.

Sendo assim, é possivel afirmar que as tecnologias da Indústria 4.0 potencializam a adoção da Economia Circular por meio de várias formas. A automação otimiza processos de extração e filtragem, aproveitando integralmente os recursos. O Big Data melhora a eficiência e reduz desperdícios por meio da análise de dados. O design sustentável e materiais inovadores permitem embalagens recicláveis e biodegradáveis. A energia solar, com o auxílio da automação, reduz a dependência de fontes não renováveis e melhora a eficiência energética. O sensoriamento e monitoramento online controlam e otimizam os parâmetros de produção, reduzindo desperdícios e mantendo a qualidade dos produtos. A integração de sistemas facilita a colaboração entre os stakeholders, permitindo atividades de reciclagem e redesenho de

produtos e processos. O RFID e QR Code garantem a rastreabilidade dos alimentos, evitando fraudes e identificando problemas de qualidade. O uso de aplicativos conecta empresas aos consumidores, facilitando a comercialização de produtos e incentivando práticas conscientes de consumo. Essas tecnologias contribuem para a redução do desperdício, a valorização de produtos sustentáveis e a melhoria da eficiência ao longo da cadeia de suprimentos.

No entanto, é importante destacar que a adoção plena das tecnologias da Indústria 4.0 e a transição para uma Economia Circular enfrentam desafios, como custos elevados, barreiras regulatórias e a necessidade de mudanças culturais. Nesse sentido, a colaboração estreita entre as empresas, os órgãos reguladores, a academia e a sociedade como um todo é fundamental para impulsionar a adoção dessas tecnologias e promover uma transformação efetiva rumo a uma economia mais circular e sustentável na Indústria de alimentos. Com isto, este estudo demonstrou que as tecnologias da Indústria 4.0 podem desempenhar um papel fundamental na promoção da Economia Circular em foodtechs, sendo identificado que que a adoção dessas tecnologias pode trazer benefícios significativos, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

A contribuição teórica deste estudo destaca o papel das tecnologias da Indústria 4.0 como facilitadoras da Economia Circular em foodtechs, este estudo toma como base os autores Olabi (2019), Rajput & Sing (2020), Schilling & Weiss (2021) e Filho et al. (2022), que deram apoio para a identificação de diversas tecnologias da Industria 4.0 e práticas que podem ser adotadas pelas empresas para impulsionar a transição para um modelo de negócio mais circular. Além disso, a análise dos stakeholders envolvidos contribui para a compreensão das dinâmicas e interações necessárias para promover a implementação bem-sucedida dessas tecnologias.

Este estudo apresenta contribuições práticas significativas para as foodtechs interessadas em adotar práticas circulares. As tecnologias da Indústria 4.0, como automação, big data e internet das coisas, mostraram-se efetivas na melhoria dos processos produtivos, na redução de desperdícios, no aumento da eficiência energética e na promoção da rastreabilidade dos produtos. Ao implementar essas tecnologias, as empresas podem obter benefícios tangíveis, como redução de custos operacionais, melhorias na qualidade dos produtos, aumento da competitividade e alinhamento com as demandas dos consumidores conscientes.

Como contribuição gerencial, este estudo oferece insights importantes sobre as tecnologias e práticas que podem ser adotadas para impulsionar a Economia Circular. A implementação dessas tecnologias requer um planejamento estratégico adequado, considerando aspectos como investimentos em infraestrutura, capacitação dos funcionários, parcerias com fornecedores e engajamento dos stakeholders. Além disso, a compreensão dos

benefícios e desafios associados a cada tecnologia permite uma tomada de decisão mais informada, direcionando os esforços para áreas de maior impacto e retorno sobre o investimento.

É importante reconhecer algumas limitações deste estudo: a pesquisa foi baseada em análise de estudos de caso em oito foodtechs brasileiras, o que pode limitar a generalização dos resultados. Além disso, as práticas e tecnologias identificadas podem estar sujeitas a mudanças e evoluções rápidas, exigindo uma atualização constante das informações. Também é importante considerar que a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 pode enfrentar desafios relacionados à infraestrutura, capacitação dos funcionários e resistência cultural, que devem ser cuidadosamente gerenciados para garantir o sucesso da implementação.

Com base nas limitações identificadas, recomenda-se que estudos futuros avancem na direção de pesquisas empíricas, como estudos de caso mais aprofundados e análises quantitativas, a fim de fornecer evidências mais robustas sobre os impactos das tecnologias da Indústria 4.0 na Economia Circular. Estudos futuros também podem explorar a interação entre as tecnologias da Indústria 4.0 e outros aspectos relevantes, como políticas e regulamentações. Como também como considerar a perspectiva dos diferentes stakeholders envolvidos em outros setores de startups ou outros mercados. Por fim, o aprofundamento das interfaces entre Economia Circular e Indústria 4.0 em startups, identificando não apenas as principais práticas circulares nas cadeias de suprimentos e as tecnologias da Indústria 4.0 adotadas como analisar a melhoria do desempenho ambiental das startups brasileiras.

Referências

Arekrans, J., Ritzén, S., & Laurenti, R. (2023). The role of radical innovation in circular strategy deployment. *Business Strategy and the Environment*, 32(3), 1085–1105. https://doi.org/10.1002/bse.3108

Awan, U., Sroufe, R., & Bozan, K. (2022). Designing Value Chains for Industry 4.0 and a Circular Economy: A Review of the Literature. *Sustainability*, *14*(12), 7084. https://doi.org/10.3390/su14127084

Bag, S., Gupta, S., & Kumar, S. (2020). Industry 4.0 adoption and 10R advancemanufacturing capabilities for sustainable development. *International Journal of Production Economics*, 107844. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107844

Bardin, L. (2016). Análise de conteúdo. São Paulo: Edição 70.

Barros, M.V., Puglieri, F.N., Tesser, D.P., Kuczynski, O. & Piekarski, C.M. (2020), Sustainability at a Brazilian university: developing environmentally sustainable practices and a life cycle assessment case study, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, (21) 5, 841-859. https://doi.org/10.1108/IJSHE-10-2019-0309

Batista, L., Gong, Y., Pereira, S., Jia, F., & Bittar, A. (2018). Circular supply chains in emerging economies – a comparative study of packaging recovery ecosystems in China and Brazil. *International Journal of Production Research, 1–21*. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1558295

Beltrami, M., Orzes, G., Sarkis, J. & Sartir, M. (2021). Industry 4.0 and sustainability: Towards conceptualization and theory. *Journal of Cleaner Production* 312 (2021) 127733. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127733

Bocken, N., & Ritala, P. (2021). Six ways to build circular business models. *Journal of Business Strategy,* 43, 184–192. https://doi.org/10.1108/JBS-11-2020-0258

Bressanelli, G., Adrodegari, F., Pigosso, D. C. A., & Parida, V. (2022). Towards the smart circular economy paradigm: A definition, conceptualization, and research agenda. *Sustainability (Switzerland), 14*(9), 4960. https://doi.org/10.3390/su14094960

Cagno, E., Negri, M., Neri, A., & Giambone, M. (2023). One framework to rule them all: An integrated, multi-level and scalable performance measurement framework of sustainability, circular economy and industrial symbiosis. *Sustainable Production and Consumption, 35*, 55–71. https:// doi.org/10.1016/j.spc.2022.10.016

Calzolari, T., Genovese, A., & Brint, A. (2021). The adoption of circular economy practices in supply chains – An assessment of European Multi-National Enterprises. *Journal of Cleaner Production, 312, 127616.* doi:10.1016/j.jclepro.2021.127616

Chauhan, C., Parida, V., & Dhir, A. (2022). Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. *Technological Forecasting and Social Change, 177*, 121508. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121508

Circle Economy. (2023). The circularity gap report (2023) (pp. 1-64, Rep.). Amsterdam: Circle Economy.

Clarkson, M. B. E. (1995). A stakeholder framework for analyzing and evaluating Corporate. *Academy of management review*, *20*(1), 92-117. https://doi.org/10.5465/amr.1995.9503271994

Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G. & Sartor, M. (2020). Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. International *Journal of Production Economics, 226*, 107617.https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107617

Denter, N.M., Seeger, F., & Moehrle, M.G. (2023). How can Blockchain technology support patent management? A systematic literature review. *International Journal of Information Management*. 68,102506. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102506

Eisenhardt, K. M., & Graebner, M. E. (2007). *Theory Building From Cases: Opportunities And Challenges. Academy of Management Journal, 50(1), 25–32.* doi:10.5465/amj.2007.24160888

Elkington, J. (1994). Towards the Sustainable Corporation: Win-Win-Win Business Strategies for Sustainable Development. *California Management Review*, 36(2), 90-100. https://doi.org/10.2307/41165746

Ellen MacArthur Foundation (2015). Towards the Circular Economy. Available at https://archive.ellenmacarthurfoundation.org – Accessed 31.05.2023.

Ellen MacArthur Foundation (2019). Cities and circular economy for food. Available at https://archive.ellenmacarthurfoundation.org – Accessed 31.05.2023.

Ellen MacArthur Foundation (2021). The big food redesign: Regenerating nature with the circular economy. Available at https://archive.ellenmacarthurfoundation.org – Accessed 31.05..2023.

Esposito, B., Sessa, M. R., Sica, D., & Malandrino, O. (2020). Towards Circular Economy in the Agri-Food Sector. A Systematic Literature Review. *Sustainability*, *12*(18), 7401. https://doi.org/10.3390/su12187401

Evans, S., Vladimirova, D., Holgado, M., Van Fossen, K., Yang, M., Silva, E.A., Barlow, C. Y., 2017. Business model innovation for sustainability: towards a unified perspective for creation of sustainable business models. *Business Strategy and the Environment 26*(5), 597–608. https://doi.org/10.1002/bse.1939

Faria, R., Lopes, I., Pires, I. M., Marques, G., Fernandes, S., Garcia, N. M., Lucas, J., Jevremović, A., Zdravevski, E., & Trajkovik, V. (2020). Circular Economy for Clothes Using Web and Mobile Technologies—A Systematic Review and a Taxonomy Proposal. *Information*, *11*(3), 161. https://doi.org/10.3390/info11030161

Ferrari, A. G., Jugend, D., Armellini, F., Barbalho, S. C. M., & de Carvalho, M. M. (2023). Crossing actors' boundaries towards circular ecosystems in the organic food sector: Facing the challenges in an emerging economy context. *Journal of Cleaner Production*, *407*, 137093. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137093

Filho, M. G., Monteiro, L., de Oliveira Mota, R., dos Santos Leite Gonella, J., & de Souza Campos, L. M. (2022). The relationship between circular economy, Industry 4.0 and supply chain performance: A combined ISM/fuzzy MICMAC approach. *Sustainability*, *14*(5), 2772. https://doi.org/10.3390/su14052772

Franceschelli, M.V., Santoro, G,. & Candelo, E. (2018). Business model innovation for sustainability: a food start-up case study. British Food Journal, (120) 10. 2483-2494. https://doi.org/10.1108/BFJ-01-2018-0049

Freeman, R. E. (1984). *Strategic management:* A stakeholder approach. Boston: Pitman.

Geisendorf, S., & Pietrulla, F. (2018). The Circular Economy and Circular Economic Concepts: A Literature Analysis and Redefinition. *Thunderbird International Business Review, 60*(6), 771-782. https://doi.org/10.1002/tie.21924

Geissdoerfer, M, Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy– A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production, 143*, 757-768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048

Geissdoerfer, M., Morioka, S.N., Evans, S., Carvalho, M.M. (2018). Business models and supply chains for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*. *190*, 712–721. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.159

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). *A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. Journal of Cleaner Production, 114, 11–32.* https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007

Gupta, H., Kumar, A., & Wasan, P. (2021). Industry 4.0, cleaner production and circular economy: An integrative framework for evaluating ethical and sustainable business performance of manufacturing organizations. *Journal of Cleaner Production, 295*, 126253. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126253

Hamam, M.; Chinnici, G.;Di Vita, G.; Pappalardo, G.; Pecorino,B.; Maesano, G. & D'Amico, M. (2021) Circular Economy Models in Agro-Food Systems: A Review. *Sustainability 13*, 3453. https://doi.org/10.3390/su13063453

Han, H., Shiwakoti, R.K., Jarvis, R., Mordi, C., & Botchie, D. (2023). Accounting and auditing with Blockchain technology and artificial Intelligence: A literature review. *International Journal of Accounting Information Systems*. *48*,100598. https://doi.org/10.1016/j.accinf.2022.100598

Khan, S. A. R., Piprani, A. Z., & Yu, Z. (2022). Digital technology and circular economy practices: future of supply chains. *Operations Management Research, 15*(3-4), 676-688. https://doi.org/10.1007/s12063-021-00247-3

Khan, S. A. R., Umar, M., Asadov, A., Tanveer, M., & Yu, Z. (2022). Technological revolution and circular economy practices: A mechanism of green economy. *Sustainability*, *14*(8), 4524. https://doi.org/10.3390/su14084524

Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., & Hekkert, M. (2018). Barriers to the circular economy: Evidence from the European Union (EU). *Ecological economics*, *150*, 264-272. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028

Kumar, R., Singh, R. K., & Dwivedi, Y. K. (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. *Journal of cleaner production*, *275*, 124063. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063

Kumar, V., Sezersan, I., Garza-Reyes, J.A., Gonzalez, E.D.R.S., AL-Shboul,M.A., 2019. Circular economy in the manufacturing sector: benefits, opportunities and barriers. *Management Decision 57*, 1067–1086. https://doi.org/10.1108/MD-09-2018-1070.

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. https://doi.org/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*, *274*. 123155. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123155

Marcon, M., Provensi, T., Sehnem, S., Campos, L. M., & Queiroz, A. A. F. S. L. The internalisation of the circular economy and ESG in Brazilian B Corps from the perspective of the Stakeholder Theory. *Sustainable Development*. https://doi.org/10.1002/sd.2601

Massaro, M., Secinaro, S., Dal Mas, F., Brescia, V. & Calandra, D. (2021). Industry 4.0 and circular economy: An exploratory analysis of academiand practitioners perspectives.

Business Strategy and the Environment,*30*(2), 1213–1231. https://doi.org/10.1002/bse.2680

Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Lona, L. R., & Tortorella, G. (2019). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context. *Journal of Manufacturing Technology Management 30*(3), 607-627. https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2018-0071

Neri, A., Negri, M., Cagno, E., Franzò, S., Kumar, V., Lampertico, T., & Bassani, C. A. (2023). The role of digital technologies in supporting the implementation of circular economy practices by industrial small and medium enterprises. *Business Strategy and the Environment*, 1– 26. https://doi.org/10.1002/bse.3388

Olabi, A. G. (2019). *Circular Economy and Renewable Energy. Energy.* https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.196

Pieroni, M.P.P., McAloone, T. C. & Pigosso D.C.A. (2021) Circular Economy business model innovation: Sectorial patterns within manufacturing companies, *Journal of Cleaner Production, 286,*124921. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124921

Queiroz, M. M., Fosso Wamba, S., Chiappetta Jabbour, C. J., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., & Machado, M. C. (2022). Adoption of Industry 4.0 technologies by organizations: a maturity levels perspective. *Annals of Operations Research*, 1-27. https://doi.org/10.1007/s10479-022-05006-6

Rajput, S. & Singh, S. P. (2020). Industry 4.0 Model for circular economy and cleaner production. *Journal of Cleaner Production, 277(), 123853.* https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123853.

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. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1680896

Sassanelli, C., Rosa, P., & Terzi, S. (2021). Supporting disassembly processes through simulation tools: A systematic literature review with a focus on printed circuit boards. *Journal of Manufacturing Systems, 60*, 429–448. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.07.009

Schilling, C., & Weiss, S. (2021). A roadmap for industry to harness biotechnology for a more circular economy. *New Biotechnology*, *60*, 9-11. https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.08.005

Sehnem, S., Bispo, D. S., João, J. O., de Souza, M. A. L., Bertoglio, O., Ciotti, R., & Deon, S. M. (2022). Upscaling circular economy in foodtechs businesses in emergent countries: Towards sustainable development through natural resource based view. *Sustainable Development*, *30*(5), 1200-1221. https://doi.org/10.1002/sd.2311

Sehnem, S., Lara, A. C., Benetti, K., Schneider, K., Marcon, M. L., & da Silva, T. H. H. (2023). Improving startups through excellence initiatives: addressing circular economy and innovation. *Environment, Development and Sustainability*, 1-47. https://doi.org/10.1007/s10668-023-03247-4

Sehnem, S., Provensi, T., da Silva, T. H. H., & Pereira, S. C. F. (2022). Disruptive innovation and circularity in start-ups: A path to sustainable development. *Business Strategy and the Environment*, *31*(4), 1292-1307.https://doi.org/10.1002/bse.2955

Sehnem, S., Provensi, T., Silva, T.H.H., Pereira, S.C.F., (2021). Disruptive Innovation and Circularity in Sustainable Business Models: A Start-ups analysis. *Business Strategy and Environment*. https://doi.org/10.1002/bse.2955.

Sehnem, S., Queiroz, A. A. F. S. L., Pereira, S. C. F., Santos Correia, G., & Kuzma, E. (2021). Circular economy and innovation: A look from the perspective of organizational capabilities. *Business Strategy and the Environment*, 2020, 1–15. https://doi.org/10.1002/bse.2884

Sehnem, S., Vazquez-Brust, D., Pereira, S. C. F., & Campos, L. M. S. (2020). Circular economy: benefits, impacts and overlapping. *Supply Chain Management*: An International Journal, 24(6), 784–804. https://doi.org/10.1108/SCM-06-2018-0213

Sileryte, R., Sabbe, A., Bouzas, V., Meister, K., Wandl, A., & van Timmeren, A. (2022). European waste statistics data for a circular economy monitor: opportunities and limitations from the amsterdam metropolitan region. *Journal of Cleaner Production*, *358*, 131767. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131767

Silva, T.H.H. & Sehnem, S. (2022) Industry 4.0 and the Circular Economy: Integration Opportunities Generated by Startups. *Logistics*, (*6*)14. https://doi.org/10.3390/logistics6010014.

Silva, T.H.H. & Sehnem, S. (2022), The circular economy and Industry 4.0: synergies and challenges, Revista de Gestão. (29) 3, 300-313. https://doi.org/0.1108/REGE-07-2021-0121.

Spaltini, M., Poletti, A., Acerbi, F., & Taisch, M. (2021). A quantitative framework for Industry 4.0 enabled Circular Economy. *Procedia CIRP*, *98*, 115-120. https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.015

Stubbs W, & Cocklin C. (2008). Conceptualizing a 'sustainability business model'. *Organization Environment 21*(2): 103–127. https://doi.org/10.1177/1086026608318042

Tapaninaho, R., & Heikkinen, A. (2022). Value creation in circular economy business for sustainability: A stakeholder relationship perspective. *Business Strategy and the Environment*, *31*(6), 2728-2740. https://doi.org/10.1002/bse.3002

Tiwari, D., Miscandlon, J., Tiwari, A., & Jewell, G. W. (2021). A review of circular economy research for electric motors and the role of Industry 4.0 technologies. *Sustainability*, *13*(17), 9668. https://doi.org/10.3390/su13179668

Upadhyay, A., Mukhuty, S., Kumar, V., & Kazancoglu, Y. (2021). Blockchain technology and the circular economy: Implications for Sustainability and social responsibility. *Journal of Cleaner Production, 293*, 126130. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126130

Urbinati, A., Franzò, S., & Chiaroni, D. (2021). Enablers and barriers for circular business models: An empirical analysis in the Italian automotive industry. *Sustainable Production and Consumption, 27*, 551–566. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.01.022.

Webster, K. (2015). The circular economy: A wealth of flows. Ellen Mac- Arthur Foundation Publishing.

Xu, L.D., Xu, E.L. & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, *56*(8), 2941-2962. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.14448064

Apêndice - Questionário

Na perspectiva da cadeia de suprimentos, em qual elo da cadeia de produção a sua empresa atua:

( ) Fornecedor
( ) Produtor Rural
( ) Indústria
( ) Atacado
( ) Varejo
( ) Prestação de serviços
( ) Consumo
( ) Outro. Qual?

Considerando a sua área de atuação atual, quem são os stakeholders (partes interessadas) mais importantes para o seu negócio.

( ) Gerentes
( ) Comunidade
( ) Clientes
( ) Fornecedores

( ) Funcionários
( ) Investidores
( ) Sociedade
( ) ONG’s
( ) Grupos locais
( ) Governo
( ) Hubs de inovação
( ) Incubadoras tecnológicas
( ) Ventures
( ) Órgão de fomento
( ) Agentes públicos
( ) Outros. Quais?

Considerando a sua área de atuação atual, quais são as tecnologias da Indústria 4.0 que você utiliza no seu negócio no dia a dia.

( ) Armazenamento de Energia
( ) Autenticação antifraude
( ) Automação
( ) Big Data
( ) Biotecnologia
( ) Blockchain
( ) Cloud computing
( ) Comunicação 5G
( ) Cybersegurança
( ) Deep learning
( ) Dispositivos móveis
( ) Estatística descritiva
( ) Geolocalização
( ) Impressão 3D (Manufatura Aditiva)
( ) Inteligência artificial
( ) IoT (Internet das Coisas)
( ) Machine Learning
( ) Manufatura inteligente
( ) Materiais avançados

( ) Meta verso
( ) Nanotecnologia
( ) Realidade Aumentada
( ) Redes Neurais Artificiais
( ) Robôs autônomos
( ) Sensores inteligentes
( ) Simulações
( ) Sistemas Integrados
( ) RFID
( ) Outra. Qual?_____

Liste aqui os usos/função/objetivo da tecnologia usada na sua empresa.

Mencione o nível de adoção das tecnologias listadas na questão anterior
( ) Nunca/nenhuma vez
( ) Quase nunca/algumas vezes por ano
( ) Algumas vezes/Uma vez ou menos por mês
( ) Regularmente/Algumas vezes por mês
( ) Bastante vezes/Uma vez por semana
( ) Quase sempre/Algumas vezes por semana
( ) Sempre/Todos os dias

Mencione a forma como você interage com as partes interessadas mais importantes para o seu negócio:
( ) via ecossistema de inovação
( ) via associação ou entidade de classe
( ) via sindicato
( ) via eventos específicos do setor
( ) Outro. Qual?

Mencione o que te motiva a usar tecnologias da Indústria 4.0 no seu negócio:
( ) Restrição de acesso a mão-de-obra para atuar no meu negócio.
( ) Escalabilidade do negócio

( ) Produtividade

( ) Retorno econômico

( ) Diferencial competitivo

( ) Outro. Qual?

Mencione das práticas a seguir, quais você adota:

Procedimentos	**Adota**	**Não adota**
Compartilhamento e troca de produtos		
Produto ecológico e socialmente responsável		
Definição dos processos com visão sustentável		
Virtualização de processos		
Produto como Serviço		
Design sustentável do produto		
Compra de produtos remanufaturados		
Reciclagem		
Reparo, reuso e conserto dos itens		
Reaproveitamento interno de resíduos		
Processos regenerativos		
Produção socialmente justa		
Princípios éticos		
Uso de energias renováveis e limpas (solar, eólica, biocombustíveis, etc.)		
Construções sustentáveis		
Empoderamento de mulheres		

Otimização de recursos naturais		
Responsabilidade pelo produto		
Eco embalagens		
Compartilhamento de experiências		
Consumo consciente		
Design modular		
Economia de água		
Eficiência energética		
Compostagem do lixo orgânico		
Logística Reversa		
Extensão do ciclo de vida		
Humanização de processos		
Inclusão social		
Uso de matérias-primas renováveis		
Certificações ambientais		
Rompeu ou alterou um produto para melhorá-lo		
Cadeia de suprimentos verde		
Benefícios legais ambientais		
Incentivos para clientes sustentáveis		
( ) Outra. Qual?_____		

Outros comentários adicionais. Cite aqui:

Dados de perfil

Nome do entrevistado:
Idade
Escolaridade:
Razão Social da empresa:
Tempo de atuação na empresa:
Cidade onde está localizado o negócio.

Caso tenha interesse em receber os resultados consolidados deste estudo, por favor, informe o seu e-mail ou telefone aqui:

7 Considerações finais

Neste capitulo são apresentadas as considerações finais desta Tese. Para atendimento. Primeiramente é descrito o subcapitulo sobre a resposta à pergunta de Tese. Nos demais subcapítulos são apresentados as contribuições práticas, gerencial, social teóricas, limitações e recomendações para futuros estudos desta Tese.

7.1 Resposta à pergunta da Tese

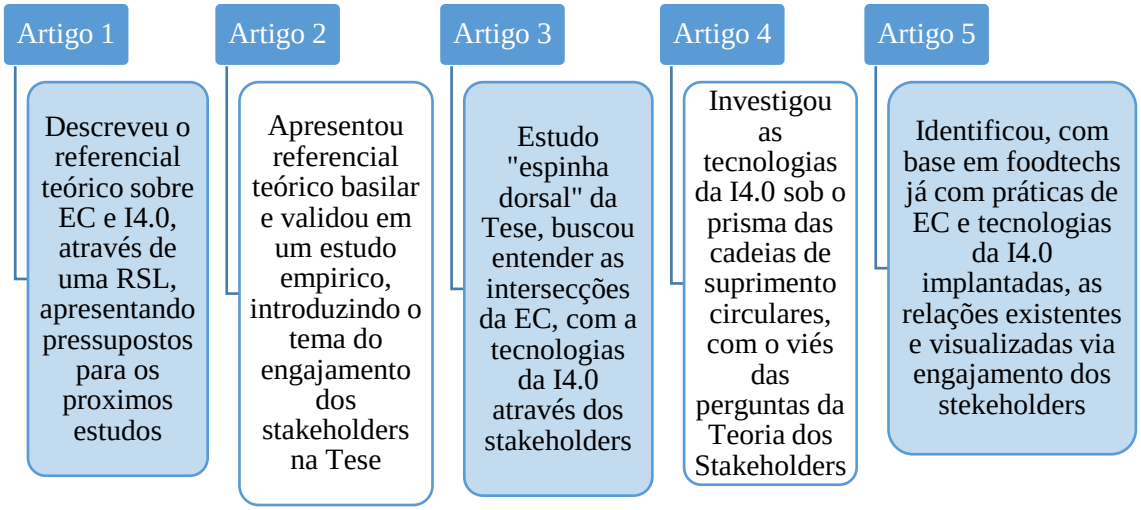
Esta Tese buscou (i) entender como as tecnologias da Indústria 4.0, que são um conjunto de avanços tecnológicos que promovem uma produção autônoma, integrada e com menor intervenção humana, revolucionando a forma como as organizações operam e se adaptam ao cenário atual; (ii) atuam como motivadores para impulsionar a Economia Circular, que é um modelo econômico que busca otimizar o uso de recursos via ciclos técnicos e biológicos, promovendo a sustentabilidade ambiental, econômica e social ao maximizar a eficiência dos recursos ao longo de todo ciclo de vida dos produtos; (iii) por meio do engajamento dos stakeholders, que são qualquer grupo ou indivíduo, que podem afetar ou serem afetados pelo alcance dos propósitos de uma organização (Freeman, 1984); (iv) em foodtechs, que são empresas que utilizam a tecnologia para aprimorar a cadeia de produção como um todo, seja na produção, distribuição, fornecimento ou pós-consumo dos alimentos, brasileiras.

Para entendimento deste objetivo, os resultados são apresentados em duas etapas: Na primeira são descritos os achados e principais conclusões por capítulos (artigos) da Tese. Já na segunda etapa são enumerados as como as tecnologias da Industria 4.0 motivam a Economia Circular por meio do stakeholder envolvido. No terceiro subcapitulo é apresentado a resposta para a pergunta da Tese.

7.1.1 Principais resultados dos artigos para o objetivo da Tese

Para prover a resposta para este objetivo descrito no parágrafo anterior de maneira mais detalhada, foram efetuados cinco artigos distintos. Cada um destes estudos, teve seu objetivo e resultados apresentados de maneira diferente. Na Figura 7.1 é descrito a principal função de cada artigo para a composição desta Tese. Em seguida é apresentado o detalhamento dos principais resultados e conclusões de cada um destes artigos.

Figura 7.1 - Função principal de cada artigo para levantamento dos resultados da Tese



O primeiro artigo da Tese estabeleceu a estrutura teórica para o estudo, indicando a necessidade de mais pesquisas sobre a intersecção da Indústria 4.0 e da Economia Circular, especialmente no contexto brasileiro. O estudo revela que a Indústria 4.0 pode impulsionar a Economia Circular, com os stakeholders desempenhando um papel crucial. As principais tecnologias da Indústria 4.0 citadas neste artigo para motivar a Economia Circular foram a Automação, o Big Data e a Internet das Coisas (IoT).

Sugestões teóricas para futuras pesquisas incluem uma análise mais aprofundada de como a Indústria 4.0 e a Economia Circular podem melhorar a percepção dos stakeholders sobre esses paradigmas, como as tecnologias da Indústria 4.0 podem otimizar as cadeias de suprimentos circulares e buscar entender os fatores motivadores e dificultadores para adoção da I4.0 e EC em cadeias de suprimentos em organizações de pequeno e médio porte. No que diz respeito às contribuições do estudo, a intersecção entre a Indústria 4.0 e a Economia Circular oferece um amplo arcabouço teórico que pode abrir caminho para novos campos de estudo interdisciplinares. Além disso, a pesquisa destaca a necessidade de mais atenção às pequenas e médias empresas, que muitas vezes carecem de capital para aplicar essas técnicas.

Os achados do artigo 2 mostram que os modelos de negócios dessas organizações possuem sinergia com os pressupostos da EC; que as tecnologias da Indústria 4.0 podem suportar a EC nas organizações estudadas; que a digitalização, a rastreabilidade, o software como serviço, a rastreabilidade, as soluções digitais e as plataformas compartilhadas são as

principais atividades entre EC e I4.0; e que parcerias e integração são fatores primordiais na criação de ecossistemas inovadores para o sucesso das foodtechs.

A principal contribuição deste estudo consiste na realização de um diagnóstico sobre o tema pesquisado e na proposição de uma agenda para a consolidação das tecnologias da Indústria 4.0, objetivando o sucesso da Economia Circular, além de permitir identificar que as tecnologias da Indústria 4.0 são relevantes para o sucesso da Economia Circular. Sobretudo, em todas as foodtechs pesquisadas, foi notório o papel das parcerias entre os stakeholders, visto que não se olha apenas a cadeia de suprimentos, mas para todo o ecossistema, considerando que as parcerias entre as universidades, o governo, os sindicatos, as associações, os bancos, as ONGs, as entidades de fomento e as empresas privadas são imprescindíveis para o êxito da Economia Circular.

Os resultados do terceiro artigo apresentam que as foodtechs investigadas estão integrando atividades associadas ao modelo ReSOLVE de Economia Circular (EC). É apontado que os avanços tecnológicos ligados à Indústria 4.0, incluindo Big Data, a Internet das Coisas (IoT) e a integração de componentes ubíquos e inteligentes nas cadeias de suprimentos, estão sendo vistos como importantes facilitadores para a EC. Quanto ao engajamento dos stakeholders, os gestores, clientes, fornecedores e investidores forma os mais citados pelas foodtechs. Embora a Economia Circular ainda seja pouco explorada tanto na literatura acadêmica quanto na prática, todas as foodtechs pesquisadas já implementaram ações ligadas a este conceito.

Além disso, apesar de as tecnologias da Indústria 4.0 ainda estarem em estágio inicial de utilização em algumas empresas, os entrevistados demonstraram profundo conhecimento dos conceitos associados. O estudo identificou que a implementação da EC, quando trabalhada em sinergia com os principais stakeholders e com o apoio das tecnologias da Indústria 4.0, pode gerar diferenciais competitivos. Tal dinâmica pode resultar em maiores lucros, particularmente quando aplicada a nichos de mercado específicos. As foodtechs emergem neste estudo como potenciais adotantes de modelos de negócios circulares, suportados por tecnologias da Indústria 4.0 e com capacidade de articular stakeholders, isto sugere o potencial dessas empresas para catalisar transformações na sociedade.

Já o artigo 4 destaca que as foodtechs estão progressivamente adotando práticas circulares e tecnologias da Indústria 4.0. Foram identificadas 16 práticas circulares entre as foodtechs estudadas, que incluem uso de embalagens *eco-friendly* e reutilização de resíduos. Em relação às tecnologias da I4.0, sete delas foram detectadas nas empresas pesquisadas, incluindo a Internet das Coisas, Big Data e Computação na Nuvem, apesar da adoção dessas

tecnologias ainda ser considerada de alto custo e sua implementação estar em estágio embrionário.

A interação entre os principais participantes da cadeia de suprimentos circular é vista como fundamental, mas ainda apresenta desafios. Fornecedores, clientes, funcionários e gerentes são os stakeholders mais engajados. Os três principais problemas da Teoria dos Stakeholders identificados por Freeman et al. (2010) também foram detectados no estudo. Eles incluem a necessidade de aprimorar a criação e negociação de valor nas cadeias de suprimentos circulares, a conexão entre ética e capitalismo, e o desafio de gerenciar esses problemas em busca de rentabilidade. A principal conclusão do estudo é que as foodtechs pesquisadas têm um grande potencial para implementar práticas circulares e adotar tecnologias da Indústria 4.0, embora ainda estejam em fase de desenvolvimento.

Para finalizar, o Artigo 5 descreve que as foodtechs estão adotando gradualmente as tecnologias da Indústria 4.0 como meio de potencializar a Economia Circular em suas operações. Através do engajamento dos stakeholders, como fornecedores, funcionários, clientes e comunidades locais, essas empresas estão buscando inovação e eficiência em seus processos e ao longo da cadeia de valor dos alimentos. A implementação de tecnologias como automação, big data, Internet das Coisas e integração de sistemas permitiu otimizar processos, reduzir desperdícios, melhorar a rastreabilidade e promover a colaboração entre os diferentes atores envolvidos. Isso reflete o compromisso das foodtechs em adotar práticas mais circulares, maximizando a utilidade de recursos, minimizando impactos ambientais e fortalecendo parcerias estratégicas.

Este estudo demonstrou que as tecnologias da Indústria 4.0 desempenham um papel fundamental na promoção da Economia Circular em foodtechs. A adoção dessas tecnologias trouxe benefícios significativos, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, incluindo redução de custos operacionais, melhorias na qualidade dos produtos, aumento da competitividade e alinhamento com as demandas dos consumidores conscientes. No entanto, a adoção plena das tecnologias da Indústria 4.0 e a transição para uma Economia Circular enfrentam desafios, como custos elevados, barreiras regulatórias e resistência cultural. Na Figura 7.2 são descritos os principais resultados e conclusões dos artigos.

Figura 7.2 - Principais resultados e conclusões dos artigos para a Tese

Artigo 1: Economia Circular e Indústria 4.0: Sinergias e desafios

Resultados principais:

Evidencia a complexidade e o potencial da interação entre Economia Circular (EC) e a Indústria 4.0 (I4.0). Destaca-se o papel transformador das tecnologias da I4.0, como Internet das Coisas (IoT) e Big Data, que podem promover avanços significativos na implementação da EC

Conclusões:

Ainda são necessários novos desenvolvimentos teóricos e empíricos para entender melhor a integração entre EC e I4.0, com a sugestão para futuros estudos que busquem compreender como essas tecnologias podem influenciar a percepção dos stakeholders e auxiliar na otimização da economia circular.

Artigo 2: A Indústria 4.0 e Economia Circular: Oportunidades para Integração em Startups

Resultados principais:

Identificou as principais macro categorias de classificação das tecnologias da I4.0 que apoiam a EC, sendo elas a digitalização e a Internet das Coisas (IoT), sensores inteligentes e rastreabilidade. O papel das parcerias em todo o ecossistema é fundamental para o sucesso da EC nas foodtechs

Conclusões

Sugestão que as tecnologias da I4.0 são fundamentais para a otimização de custos de fabricação, melhoria da qualidade, redução do tempo de espera nos processos, aumento da produtividade, precisão, confiabilidade, tomada de decisão, monitoramento e flexibilidade. Como também as parcerias no ecossistema das foodtechs.

Artigo 3: As Tecnologias da indústria 4.0 como motivadores para a Economia Circular em foodtechs: uma análise na perspectiva dos Stakeholders

Resultados principais:

Todas as foodtechs analisadas apresentaram ações da estrutura ReSOLVE da EC, com ênfase no papel das tecnologias da I4.0, como Big Data, IoT e a integração de componentes inteligentes nas cadeias de suprimentos. Os stakeholders fundamentais como gestores, clientes, fornecedores e investidores são altamente considerados por essas empresas.

Conclusões:

Apesar das dificuldades, é possível aplicar a EC como um fator de sucesso nas organizações, se reconhecida pelos mercados. As tecnologias da I4.0 são vistas como acessíveis e promissoras para resultados financeiros futuros maiores.

Artigo 4: Cadeias de Suprimentos Circulares e Indústria 4.0: Uma Análise das Interfaces em Foodtechs Brasileiras

Resultados principais:

As foodtechs estão progressivamente adotando práticas circulares e tecnologias da I4.0 para aumentar a sustentabilidade. Práticas circulares como uso de embalagens *eco-friendly* e reutilização de resíduos foram identificadas, embora a adoção de tecnologias como a IoT, Big Data e Computação na Nuvem ainda esteja em fase inicial.

Conclusões:

Apesar de ainda estarem em fase de desenvolvimento, as foodtechs possuem grande potencial para implementar práticas circulares e adotar tecnologias da I4.0. A superação dos desafios da Teoria dos Stakeholders é crucial para o avanço da sustentabilidade na cadeia de suprimentos alimentar.

Artigo 5: As Tecnologias da Indústria 4.0 na potencialização da Economia Circular via engajamento dos stakeholders em foodtechs brasileiras

Resultados principais:

As foodtechs pesquisadas estão adotando gradualmente as tecnologias da Indústria 4.0 para impulsionar a Economia Circular, através do engajamento dos stakeholders. A implementação dessas tecnologias permitiu otimizar processos, reduzir desperdícios, melhorar a rastreabilidade e promover a colaboração ao longo da cadeia de valor.

Conclusões:

A adoção das tecnologias da I4.0 traz benefícios significativos, como redução de custos, melhorias na qualidade dos produtos e alinhamento com as demandas dos consumidores conscientes. No entanto, existem desafios a serem superados.

7.1.2 As tecnologias da Industria 4.0 como motivadores para a Economia Circular por meio do engajamento dos stakeholders

Nesta etapa, são enumerados os principais achados empíricos nos artigos referenciando as Tecnologias da Indústria 4.0, como estas motivam a Economia Circular, as partes interessadas envolvidas neste processo e de que maneira eles estão envolvidos. É descrito também os autores que alicerçam a base teórica e o artigo que está descrito este achado. Na tabela 7.1 é apresentado o resumo destas informações.

Tabela 7.1 - Principais achados empíricos dos cinco artigos

Tecnologia da I4.0	Motivador para a Economia Circular	Stakeholders engajados	Autores basilares	Artigo
Automação	Otimização dos processos de extração e filtragem, aproveitando integralmente as sementes como matéria prima	Fornecedores: Beneficiam-se ao aprimorar a eficiência e reduzir desperdícios em seus processos de extração Clientes: Recebem produtos mais sustentáveis, extraídos de forma eficiente	Olabi (2019); Filho et al. (2022)	5
	A energia solar reduz a dependência de fontes não renováveis, reduzindo as emissões de carbono através da automação que otimiza o uso da energia solar e melhora a eficiência energética	Comunidade: Beneficia-se pela redução das emissões de carbono		
Big Data	Transformação de ativos e bens produtivos em artefatos inteligentes e interconectados, facilitando a gestão e aumentando a eficiência nos processos circulares	Fornecedores: produtores de bens e ativos produtivos inteligentes e interconectados Clientes: beneficiários de produtos com tecnologias integradas	Castelo-Branco et al. (2019); Olabi (2019); Rajput & Sing (2020); Bag & Pretorius (2020); Kristoffersen et al. (2020)	2, 3,4 e 5
	Virtualização e armazenamento eficiente e econômico de dados, que auxilia na pesquisa e compreensão dos ativos trabalhados	Fornecedores: Produtores Agrícolas sujeitos da pesquisa		
	Apoia pesquisas de *procurement* para descoberta de novos fornecedores com o objetivo de aumentar a circularidade nas cadeias de suprimentos	Clientes e Fornecedores: beneficiários diretos da otimização das cadeias de suprimentos		
	Auxilia na análise de dados para melhorar a eficiência e reduzir desperdícios	Fornecedores: utilizam os dados analíticos para identificar oportunidades de melhoria nos processos de extração e redução de desperdícios. Clientes: se beneficiam de produtos de melhor qualidade e sustentáveis, resultado da análise de dados para otimizar os processos de extração.		
	A análise dos dados coletados contribui para a melhoria contínua dos processos, permitindo identificar oportunidades de otimização e redução de desperdícios	Clientes: Beneficiam-se ao receber produtos aprimorados e de qualidade superior Fornecedores: Beneficiam-se pela identificação de áreas de melhoria e otimização nos processos de produção		

Biotecnologia	O design sustentável cria embalagens recicláveis ou biodegradáveis, reduzindo o impacto ambiental. Materiais inovadores permitem o desenvolvimento de embalagens mais sustentáveis	Clientes: Beneficiam-se por consumir produtos embalados de maneira mais sustentável	Schilling & Weiss, (2021)	5
Blockchain	Efetua a gestão eficiente e precisa dos resíduos sólidos, transformando-os em ativos físicos para novas cadeias de produção e rendendo créditos para a indústria que emitiu o resíduo	Acionistas e Investidores: financiadores da implementação da tecnologia Comunidade: receptores do impacto ambiental da gestão de resíduos Governo: regulador e potencial incentivador da gestão eficiente de resíduos ONGs: fiscalizadores e defensores de práticas sustentáveis	Clohessy & Acton (2019); Kouhizadeh et al. (2020); Ma et al. (2020); Zhu et al. (2022)	2
Computação na Nuvem	Virtualização de processos internos	Clientes e Fornecedores: Beneficiados por processos internos mais eficientes	de Sousa Jabbour et al. (2018) Zhang et al. (2020); Neri et al. (2023)	4 e 5
	Promoção da rastreabilidade de todo o processo produtivo circular	Clientes, Fornecedores e Comunidade: Beneficiados por uma produção mais transparente e sustentável		
	A integração de sistemas facilita a colaboração entre os stakeholders ao longo da cadeia de suprimentos, permitindo atividades de reciclagem e redesenho de produtos e processos. O uso de sistemas na nuvem agiliza o compartilhamento de informações	Fornecedores: Beneficiam-se da colaboração mais facilitada e do compartilhamento de informações mais ágil. Clientes: Beneficiam-se da reciclagem e do redesenho de produtos e processos		
Inteligência Artificial	Auxilia na criação de embalagens inteligentes e sustentáveis, otimização da durabilidade e reutilização, resultando em redução de resíduos e custos e economia na logística reversa	Fornecedores: produtores de embalagens inteligentes e sustentáveis Clientes: beneficiários de produtos com embalagens sustentáveis	Gravilla & Ancillo (2021)	2
Internet das Coisas (IoT)	Apoio no desenvolvimento de produtores locais com foco em regeneração e sustentabilidade, economia de energia por meio do monitoramento de temperatura e corrente elétrica	Fornecedores: Produtores Locais usuários dos aplicativos e beneficiários do desenvolvimento; Comunidade: Beneficiária da economia de energia.	Awan et al. (2022); Zhang et al. (2020); Rajput & Sing (2020);	3, 4 e 5

	Melhoria das métricas circulares por meio do monitoramento de fornecedores	Fornecedores: Sujeitos do monitoramento e potencialmente beneficiados por práticas aprimoradas. Clientes: Beneficiários de produtos de fornecedores com métricas circulares aprimoradas		
	Avaliação flexível e responsiva do ciclo de vida do produto, além de suporte na utilização de dados disponíveis na cadeia de suprimentos	Clientes, Fornecedores e Comunidade: Todos beneficiados pela melhoria do ciclo de vida do produto.		
	Acompanhamento do retorno de embalagens reutilizáveis	Clientes: Beneficiados pelo uso eficaz de embalagens reutilizáveis. Comunidade: Beneficiada pela redução do desperdício de embalagens		
	O sensoriamento e monitoramento online permitem o controle e a otimização dos parâmetros de produção, reduzindo desperdícios e garantindo a qualidade dos produtos.	Clientes: Beneficiam-se ao receber produtos de maior qualidade. Fornecedores: Beneficiam-se pela redução de desperdícios e melhoria contínua dos processos		
	O RFID e QR Code permitem o rastreamento dos alimentos ao longo da cadeia de produção, garantindo autenticidade e qualidade. A rastreabilidade evita fraudes, identifica problemas de qualidade e facilita recalls	Clientes: Beneficiam-se ao receber alimentos autênticos e de qualidade		
	Os aplicativos conectam diretamente a empresa aos consumidores, facilitando a comercialização de produtos e promovendo práticas conscientes de consumo. Isso pode incentivar a redução do desperdício de alimentos e a valorização de produtos sustentáveis.	Clientes: Beneficiam-se ao adquirir produtos de maneira mais conveniente e sustentável Comunidade: Beneficia-se com a redução do desperdício de alimentos e a valorização de produtos sustentáveis		

7.1.3 A Tese

Os achados dos artigos evidenciaram que as tecnologias da Indústria 4.0, como automação, Big Data, Internet das Coisas (IoT), computação na nuvem, Inteligência Artificial e Blockchain, desempenham um papel fundamental na promoção da Economia Circular nas foodtechs brasileiras. Através da adoção dessas tecnologias, as empresas foram capazes de otimizar processos, reduzir desperdícios, melhorar a rastreabilidade, promover a colaboração entre os stakeholders e buscar inovação e eficiência em suas operações. O engajamento dos stakeholders, como fornecedores, clientes, funcionários e comunidades locais, desempenha um papel ativo na transição para a Economia Circular. A colaboração e o engajamento desses stakeholders permitem a implementação de práticas circulares, como o uso de embalagens sustentáveis, a reciclagem de resíduos, a adoção de processos mais eficientes e a promoção da rastreabilidade dos alimentos. Além disso, o engajamento dos stakeholders impulsiona a inovação, a melhoria contínua dos processos e a busca por soluções mais sustentáveis ao longo da cadeia de valor dos alimentos.

As tecnologias da Indústria 4.0 motivam a Economia Circular de diversas maneiras. A automação, por exemplo, otimiza os processos de extração e filtragem nas foodtechs, aproveitando integralmente as matérias-primas e reduzindo desperdícios. A energia solar, impulsionada pela automação, reduz a dependência de fontes não renováveis, contribuindo para a eficiência energética e a redução de emissões de carbono. O Big Data desempenha um papel essencial na Economia Circular, permitindo a análise de dados para identificar oportunidades de otimização e redução de desperdícios. Através da pesquisa e compreensão dos ativos trabalhados, facilita a gestão eficiente e aumenta a eficiência nos processos circulares. Além disso, o Big Data contribui para a melhoria contínua dos processos, permitindo a identificação de oportunidades de otimização e a redução de desperdícios.

A IoT também é uma tecnologia motivadora para a Economia Circular. O sensoriamento e monitoramento online de parâmetros de produção permitem o controle e a otimização desses parâmetros, reduzindo desperdícios e garantindo a qualidade dos produtos. O RFID e o QR Code permitem a rastreabilidade dos alimentos ao longo da cadeia de produção, garantindo autenticidade e qualidade, e facilitando recalls quando necessário. Além disso, os aplicativos próprios conectam diretamente as empresas aos consumidores, facilitando a comercialização de produtos sustentáveis e incentivando a redução do desperdício de alimentos. A computação na nuvem facilita a colaboração entre os stakeholders ao longo da cadeia de suprimentos, permitindo atividades de reciclagem e redesenho de produtos e

processos. Essas tecnologias agilizam o compartilhamento de informações, contribuindo para uma maior eficiência e transparência nas operações.

A Inteligência Artificial permite a criação de embalagens inteligentes e sustentáveis, otimizando sua durabilidade e reutilização, o que resulta em redução de resíduos e custos, além de proporcionar economia na logística reversa. Por meio da IA, é possível realizar uma avaliação flexível e responsiva do ciclo de vida do produto, bem como utilizar dados disponíveis na cadeia de suprimentos para melhorar as métricas circulares. Já o Blockchain desempenha um papel fundamental na gestão eficiente e precisa dos resíduos sólidos, transformando-os em ativos físicos para novas cadeias de produção e rendendo créditos para as indústrias que emitiram esses resíduos. Essa tecnologia também facilita a criação de ecossistemas inovadores, promovendo a colaboração entre os diferentes atores envolvidos na Economia Circular.

Sendo assim, as tecnologias da Indústria 4.0 desempenham um papel fundamental na promoção da Economia Circular nas foodtechs brasileiras. Essas tecnologias permitem otimizar processos, reduzir desperdícios, melhorar a rastreabilidade e promover a colaboração entre os stakeholders. O engajamento desses stakeholders é essencial para impulsionar a transição para um modelo de negócio mais circular. Com isto, A Tese "As tecnologias da Indústria 4.0 atuam como motivadores para a Economia Circular, por meio do engajamento dos stakeholders, em foodtechs brasileiras" é confirmada pelos achados dos artigos.

7.2 Contribuições práticas

As contribuições práticas desta Tese versam, primeiramente, na necessidade de atenção especial às pequenas e médias empresas, que muitas vezes enfrentam desafios financeiros para implementar as tecnologias da Indústria 4.0 e adotar práticas circulares. Além disso, é ressaltado o mapeamento das tecnologias da Indústria 4.0 adotadas pelas foodtechs, demonstrando como essas empresas estão alinhadas com os princípios da Economia Circular, e como as tecnologias da Indústria 4.0 podem superar os desafios e equilibrar os pilares ambiental, econômico e social da sustentabilidade. A pesquisa também evidencia a importância do engajamento dos stakeholders estratégicos para otimizar as cadeias produtivas circulares nas foodtechs, e como a circularidade de recursos pode gerar valor quando apoiada pelas tecnologias da Indústria 4.0.

No contexto das foodtechs, as contribuições práticas incluem a validação dos constructos de pesquisa relacionados à Economia Circular, destacando o alinhamento dessas

empresas com os princípios circulares e as tecnologias da Indústria 4.0. Além disso, o estudo enfatiza a eficiência proporcionada pelas tecnologias da Indústria 4.0 nas cadeias produtivas circulares das foodtechs, mesmo considerando o alto investimento e a incipiência dessas tecnologias nas empresas pesquisadas. A pesquisa reforça a importância do engajamento dos stakeholders estratégicos e destaca as tecnologias da Indústria 4.0, como ferramentas efetivas para melhorar os processos produtivos, reduzir desperdícios, aumentar a eficiência energética e promover a rastreabilidade dos produtos nas foodtechs. Ao adotar essas tecnologias, as empresas podem alcançar benefícios tangíveis, como redução de custos operacionais, melhoria na qualidade dos produtos, maior competitividade e atendimento às demandas dos consumidores conscientes.

7.3 Contribuições gerenciais

As contribuições gerenciais desta Tese destacam que a prática da Economia Circular pode ser um fator de sucesso para as organizações, desde que seja perceptível pelo mercado. Embora as tecnologias da Indústria 4.0 representem um investimento considerável, elas têm o potencial de impulsionar resultados financeiros a médio e longo prazo. A adoção da Economia Circular, em sinergia com os principais stakeholders e o apoio das tecnologias da Indústria 4.0, pode gerar diferenciais competitivos e lucros maiores, especialmente em nichos de mercado específicos. Além disso, a relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) pode ser amplamente explorada pelas foodtechs, proporcionando oportunidades de crescimento.

Uma abordagem integrada, que combina tecnologias da Indústria 4.0 e Economia Circular, é necessária para maximizar a sustentabilidade das cadeias produtivas dessas empresas. Essas descobertas oferecem insights importantes sobre as tecnologias e práticas que podem ser adotadas, destacando a importância do planejamento estratégico, dos investimentos em infraestrutura, da capacitação dos funcionários, das parcerias com fornecedores e do engajamento dos stakeholders. Compreender os benefícios e desafios associados a cada tecnologia permite uma tomada de decisão informada, direcionando os esforços para áreas de maior impacto e retorno sobre o investimento.

7.4 Contribuições sociais

As contribuições sociais desta Tese destacam a viabilidade das tecnologias da Indústria 4.0 para impulsionar a Economia Circular nas foodtechs, apesar dos desafios financeiros. A

conscientização sobre o potencial dessas tecnologias, aliada ao engajamento dos stakeholders, pode não apenas gerar benefícios econômicos e ambientais a longo prazo, mas também promover a criação de empregos e melhorar a qualidade de vida das comunidades. A adoção dessas tecnologias não apenas impulsiona a transição para uma economia mais circular, mas também oferece oportunidades de inclusão social e melhoria socioambiental, construindo um futuro sustentável e próspero.

7.5 Contribuições teóricas

A contribuição teórica reside na interseção entre a Economia Circular e a Indústria 4.0, bem como na aplicação da Teoria dos Stakeholders. A pesquisa destaca a necessidade de aprofundamento nesses campos emergentes e traz evidências empíricas que corroboram com a literatura existente. A combinação desses conceitos ainda pouco explorados abre novas perspectivas para o contexto das foodtechs brasileiras, que estão em estágios iniciais de adoção das tecnologias da Indústria 4.0 e práticas circulares. Além disso, a pesquisa contribui para preencher lacunas teóricas identificadas em estudos anteriores, especialmente no contexto das pequenas e médias empresas brasileiras.

Como também esta contribuição vai além da identificação das tecnologias da Indústria 4.0 e práticas da Economia Circular, também destaca a importância do papel dos stakeholders e das interações necessárias para o sucesso da implementação dessas tecnologias. A análise das interrelações entre esses conceitos e a validação empírica do contexto das foodtechs brasileiras fornecem insights valiosos para o campo acadêmico. Os autores citados durante todos os artigos embasam essa pesquisa e contribuem para uma compreensão mais ampla das tecnologias da Indústria 4.0 e seu potencial para impulsionar a transição para modelos de negócio mais circulares.

7.6 Limitações

Esta Tese possui algumas limitações a serem consideradas. Uma grande parte dos estudos basilares encontrados é de natureza bibliográfica, indicando que o tema ainda está em estágio inicial de desenvolvimento e carece de estudos empíricos mais aprofundados. É importante também considerar o viés dos pesquisadores, que pode influenciar a interpretação dos resultados. Outra limitação diz respeito à cobertura das informações, que pode não ter sido completa, deixando de mapear outras tecnologias da Indústria 4.0 utilizadas pelas foodtechs. Além disso, os resultados deste estudo são baseados em um único setor, o que limita sua generalização para outros setores. A falta de estudos empíricos mais amplos sobre a interseção

entre a Economia Circular e a Indústria 4.0 também é uma limitação. Por fim, a Tese tem uma abordagem predominantemente qualitativa, o que pode restringir a compreensão quantitativa das relações entre os dois constructos.

7.7 Recomendações para futuros estudos

Recomenda-se que estudos futuros explorem a interseção entre os campos teóricos da Economia Circular e da Indústria 4.0 em relação ao contexto social da sustentabilidade. Além disso, a transição de fábricas tradicionais para a adoção da EC e I4.0 pode ser descrita e analisada. Sugere-se também a aplicação do modelo teórico proposto neste estudo no campo prático, promovendo uma maior aproximação entre universidades e Indústrias para impulsionar a simbiose entre EC e I4.0. Outras sugestões incluem a investigação de em outros nichos específicos de startups. Como as agritechs ou fintechs, como exemplos.

Uma outra sugestão para estudos futuros é a análise comparativa entre foodtechs pesquisadas neste estudo e empresas de outros setores da economia (diferente das startups), a fim de examinar as semelhanças e diferenças nas interfaces entre as tecnologias da Indústria 4.0 e a Economia Circular, em diferentes contextos empresariais. Isso permitiria uma compreensão mais abrangente das dinâmicas envolvidas e dos fatores que influenciam o sucesso da implementação das tecnologias da I4.0 na promoção da Economia Circular.

Referências

Agência Senado (2022). Disponível em https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2021/06/02/marco-legal-das-startups-e-sancionado. Acesso em: 12.10.2022.

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*, *274*, 122843. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122843.

Awan, U., Sroufe, R., & Bozan, K. (2022). Designing Value Chains for Industry 4.0 and a Circular Economy: A Review of the Literature. *Sustainability*, *14*(12), 7084. https://doi.org/10.3390/su14127084.

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*. *30*(4), 864-898. https://doi.org/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. *231*, 107844. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107844.

Beltrami, M., Orzes, G., Sarkis, J. & Sartir, M. (2021). Industry 4.0 and sustainability: Towards conceptualization and theory. *Journal of Cleaner Production* 312 (2021) 127733. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127733.

Castelo-Branco, I., Cruz-Jesus, F., Oliveira, T., (2019). Assessing industry 4.0 readiness in manufacturing: evidence for the European union. *Computers in Industry. 107*, 22–32. https:// doi.org/10.1016/j.compind.2019.01.007.

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, 279*, 123854. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123854.

Circularity Gap Report. (2022). *5th anniversary*. Circle Economy. Disponível em: https://www.circularity-gap.world/.

Clarkson, M. (1994). *A risk based model of stakeholder theory*. Proceedings oí the Second Toronto Conierence on Stakeholder Theory. Toronto: Centre for Corporate Social Performance & Ethics, University of Toronto.

Clarkson, M. B. E.. (1995). A Stakeholder Framework for Analyzing and Evaluating Corporate Social Performance. *The Academy of Management Review*, *20*(1), 92–117. https://doi.org/10.2307/258888.

Clohessy, T., & Acton, T. (2019). Investigating the influence of organizational factors on blockchain adoption: An innovation theory perspective. *Industrial Management & Data Systems, 119*(7), 1457-1491. https://doi.org/10.1108/IMDS-08-2018-0365.

Del Giudice, M., Chierici, R., Mazzucchelli, A. & Fiano, F. (2021). Supply chain management in the era of circular economy: the moderating effect of big data. *The International Journal of Logistics Management, 32*(2), 337-356. https://doi.org/10.1108/IJLM-03-2020-0119.

Ellen MacArthur Foundation (2015). Towards the Circular Economy. Disponível em https://archive.ellenmacarthurfoundation.org. Acesso em 30.06.2023.

Erro-Garcés, A. (2019). Industry 4.0: defining the research agenda. *Benchmarking: an international journal, 28*(5), 1858-1882. https://doi.org/10.1108/BIJ-12-2018-0444.

FAO - Food and Agriculture Organizations (2022). Disponível em: https://www.fao.org/home/en/ Acesso em:13.08.22.

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. https://doi.org/10.1108/scm-10-2018-0345.

Fatimah, Y. A., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. (2020). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, *269*, 122263. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263

Filho, M. G., Monteiro, L., de Oliveira Mota, R., dos Santos Leite Gonella, J., & de Souza Campos, L. M. (2022). The relationship between circular economy, Industry 4.0 and supply chain performance: A combined ISM/fuzzy MICMAC approach. *Sustainability*, *14*(5), 2772. https://doi.org/10.3390/su14052772

Freeman, E. R.; Harrison, j. S.; Wicks, a. C.; Parmar, b. L. & Colle, S. (2010). Stakeholder theory: the state of the art. New York: Cambridge Press.

Freeman, R. E. (1984). *Strategic management*: A stakeholder approach. Boston: Pitman/Ballinger.

Gan, V. J., Lo, I. M., Ma, J., Tse, K. T., Cheng, J. C., & Chan, C. M. (2020). Simulation optimisation towards energy efficient green buildings: Current status and future trends. *Journal of Cleaner Production*, *254*, 120012. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120012.

Gavrila, S. G., & de Lucas Ancillo, A. (2021). Spanish SMEs' digitalization enablers: E-Receipt applications to the offline retail market. *Technological Forecasting and Social Change*, *162*, 120381. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120381.

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*, *276*, 123204.. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123204.

Hoon, C. (2013). Meta-Synthesis of Qualitative Case Studies. *Organizational Research Methods*, *16*(4), 522–556. https://doi.org/10.1177/1094428113484969.

Kerin, M., & Pham, D. T. (2019). A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. *Journal of cleaner production*, *237*, 117805. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117805.

Khan, S., & Haleem, A. (2020). Strategies to implement circular economy practices: A fuzzy DEMATEL approach. *Journal of Industrial Integration and Management*, *5*(02), 253-269. https://doi.org/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. https://doi.org/10.1177/0972150920948818.

Kouhizadeh, M., Zhu, Q., & Sarkis, J. (2020). Blockchain and the circular economy: potential tensions and critical reflections from practice. *Production Planning & Control*, *31*(11-12), 950-966. https://doi.org/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. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044.

Kumar, R., Singh, R. K., & Dwivedi, Y. K. (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. *Journal of cleaner production*, *275*, 124063. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063.

Lardo, A., Mancini, D., Paoloni, N., & Russo, G. (2020). The perspective of capability providers in creating a sustainable I4. 0 environment. *Management Decision*, *58*(8), 1759-1777. https://doi.org/10.1108/MD-09-2019-1333.

Lechner, G., & Reimann, M.(2020). Integrated decision-making in reverse logistics: an optimisation of interacting acquisition, grading and disposition processes. *International*

Journal of Production Research, *58*(19), 5786-5805. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1659518.

Lieder, M., Asif, F. M., & Rashid, A. (2020). A choice behavior experiment with circular business models using machine learning and simulation modeling. *Journal of Cleaner Production*, *258*, 120894. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120894.

Liga Inghts FoodTechs (2023); Disponível em https://liga.ventures/insights/relatorios/a-evolucao-das-startups-no-setor-de-food-techs-2021-2022/. Acesso em 03.07.23

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*, *271*, 122456.. https://doi.org/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*, *274*. 123155. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123155.

Mitchell, R. K., Agle, B. R., & Wood, D. J. (1997). Toward a theory of stakeholder identification and salience: Defining the principle of who and what really counts. *Academy of management review*, *22*(4), 853-886. https://doi.org/10.5465/amr.1997.9711022105

Neri, A., Negri, M., Cagno, E., Franzò, S., Kumar, V., Lampertico, T., & Bassani, C. A. (2023). The role of digital technologies in supporting the implementation of circular economy practices by industrial small and medium enterprises. *Business Strategy and the Environment*, 1– 26. https://doi.org/10.1002/bse.3388

Objetivos De Desenvolvimento Sustentável (2015). *Transformando Nosso Mundo*: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova Yorque: ONU.

Olabi, A. G. (2019). *Circular Economy and Renewable Energy. Energy.* https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.196 .

Rajput, S., & Singh, S. P. (2020). Industry 4.0 Model for circular economy and cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, *277*, 123853.. https://doi.org/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.

Revista Exame (2022). *Economia Circular pode tirar o Brasil da 5ª posição dos geradores de resíduos*. Disponível em https://exame.com/bussola/economia-circular-pode-tirar-brasil-da-5a-posicao-dos-geradores-residuos/. Acesso em 12.07.2022.

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*, DOI: 10.1080/00207543.2019.1680896.

Sandvik, I. M., & Stubbs, W. (2019). Circular fashion supply chain through textile-to-textile recycling. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, *23*(3), 366-381.https://doi.org/10.1108/jfmm-04-2018-0058.

Schwab, K. (2016). A quarta revolução Industrial. São Paulo: Edipro. ISBN 978-85-7283-978-5.

Sehnem, S., Pereira, S. C. F., Godoi, D., Pereira, L. H., & Junior, S. S. (2021). Food waste management: An analysis from the circular economy perspective. *Environmental Quality Management*, *31*(1), 59-72. https://doi.org/10.1002/tqem.21717.

Sehnem, S., Provensi, T., da Silva, T. H. H., & Pereira, S. C. F. (2022). Disruptive innovation and circularity in start-ups: A path to sustainable development. *Business Strategy and the Environment*, *31*(4), 1292-1307.https://doi.org/10.1002/bse.2955

Sehnem, S., Vazquez-Brust, D., Pereira, S. C. F., & Campos, L. M. S. (2020). Circular economy: benefits, impacts and overlapping. *Supply Chain Management*: An International Journal, 24(6), 784–804. https://doi.org/10.1108/SCM-06-2018-0213

Sharma, R., Jabbour, C. J. C., & Lopes de Sousa Jabbour, A. B. (2021). Sustainable manufacturing and industry 4.0: what we know and what we don't. *Journal of Enterprise Information Management*, *34*(1), 230-266.. https://doi.org/10.1108/jeim-01-2020-0024.

Silva, T. H. H. & Sehnem, S. (2022a). The circular economy and Industry 4.0: Synergies and challenges. *Revista de Gestão*, *29*(3), 300-313. https://doi.org/10.1108/REGE-07-2021-0121.

Silva, T. H. H. & Sehnem, S. (2022b). Industry 4.0 and the Circular Economy: Integration Opportunities Generated by Startups. *Logistics*, *6*(1), 14. https://doi.org/10.3390/logistics6010014.

Tavares, T. M., Godinho Filho, M., & Ganga, G. M. D. (2020). The relationship between additive manufacturing and circular economy: A sistematic review. *Independent Journal of Management & Production*, *11*(5), 1648-1666. https://doi.org/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 Managament*.*14*(3) 207–222. https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375.

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*, 1-13. https://doi.org/10.1007/s10257-020-00477-1.

Yadav, G., Luthra, S., Jakhar, S. K., 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, 254,* 120112. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120112.

Zhang, A., Venkatesh, V. G., Liu, Y., Wan, M., Qu, T., & Huisingh, D. (2019). Barriers to smart waste management for a circular economy in China. *Journal of Cleaner Production, 240,* 118198. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118198.

Zhang, A., Zhong, R. Y., Farooque, M., Kang, K., & Venkatesh, V. G. (2020). *Blockchain-based life cycle assessment: An implementation framework and system architecture. Resources, Conservation and Recycling, 152, 104512.* doi:10.1016/j.resconrec.2019.1045.

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, 271,* 122680. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122680.

Zhu, Q., Bai, C., & Sarkis, J. (2022). Blockchain technology and supply chains: The paradox of the atheoretical research discourse. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 164,* 102824. https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102824.