

**AS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA POTENCIALIZAÇÃO DA ECONOMIA
CIRCULAR VIA ENGAJAMENTO DOS STAKEHOLDERS EM FOODTECHS
BRASILEIRAS**

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

SIMONE SEHNEM
UNIVERSIDADE DO OESTE DE SANTA CATARINA (UNOESC)

Agradecimento à órgão de fomento:
Ao CAPES.

AS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA POTENCIALIZAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR VIA ENGAJAMENTO DOS STAKEHOLDERS EM FOODTECHS BRASILEIRAS

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 (Sehnm 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 (Sehnm 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 & Sehnm, 2022a; Silva & Sehnm, 2022b).

2 Referencial teórico

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).

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 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).

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).

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 1 é apresentado estas relações, com base nos autores citados:

Tabela 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 performance 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 processos 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 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 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	Demonstra um papel importante na aplicação da economia circular, pois oferece conectividade e diversas aplicações, 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	Faria et al., (2020)
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 prevê 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)

A inovação desempenha um papel fundamental na competitividade das organizações, sendo vista como uma fonte geradora de valor perante o mercado e os concorrentes (Sehnm 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 & Sehnm, 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).

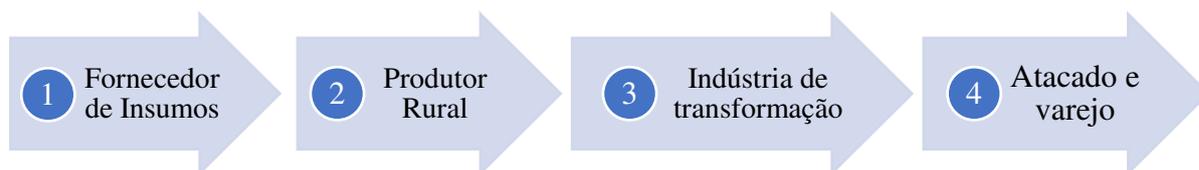
Esta seção apresentou os conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 relacionados à economia circular. Foi destacada a importância da Economia Circular como uma abordagem para enfrentar esses desafios, visando a maximização do uso de recursos e a redução do desperdício. Além disso, foram apresentadas as 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.

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 1.

Figura 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 sobre 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.

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 análise empírica (categorização a posteriori). Esta análise se baseou no referencial teórico a cerca 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.

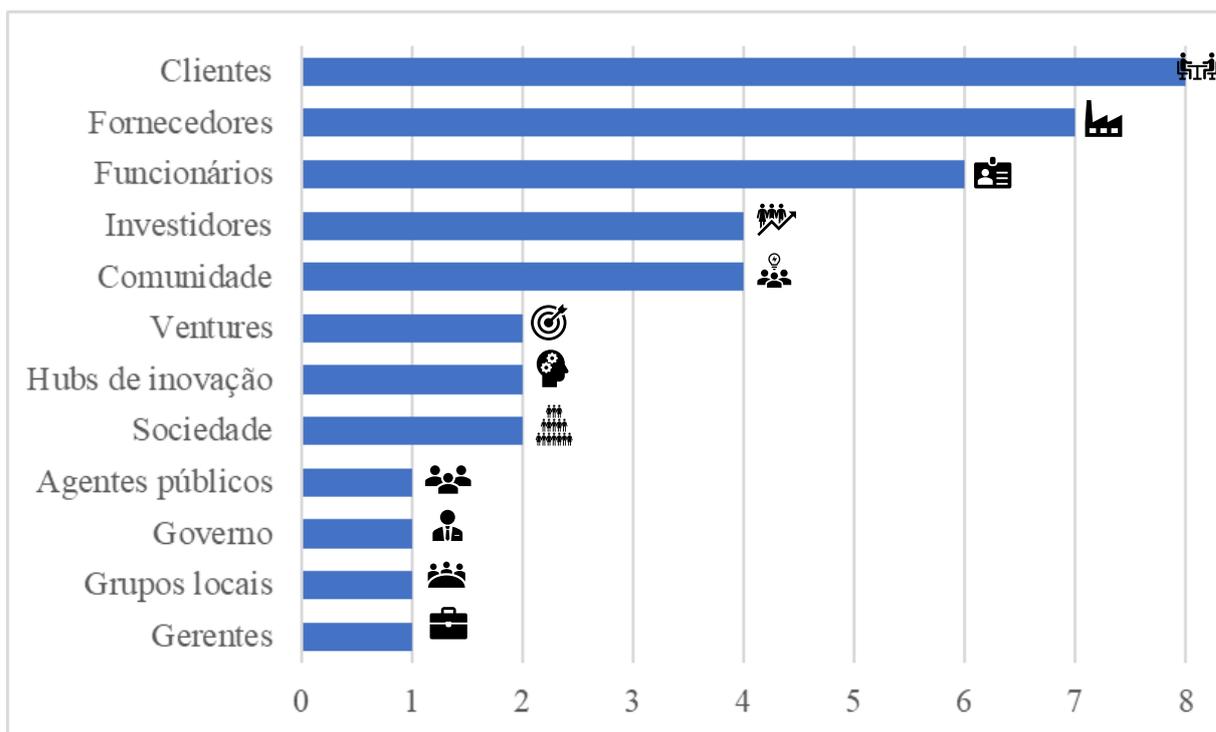
Para manter o anonimato das foodtechs pesquisadas, seus nomes foram suprimidos e codificados com números de 1 a 8. Após, cada entrevista foi transcrita com o auxílio do software *Transkriptor* e em seguida revisadas para adequação à fala do entrevistado. As 8 transcrições geradas a partir de 5 horas, 9 minutos e 47 segundos de gravação, resultaram em 48.619 palavras.

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.

4 Apresentação dos resultados

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 1 demonstra esses stakeholders, bem como os ícones que identificam essas partes interessadas neste estudo.

Figura 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.

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. Na continuidade da análise das foodtechs foi possível identificar 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.

5 Discussão dos resultados

Esta seção 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 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.

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).

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 2 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 2 - 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)

6 Considerações finais

É possível 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.

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 Indústria 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.

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.

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 advanced manufacturing 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., & Moehrl, 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 academicians and 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>.
- Sehnm, 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>.
- Sehnm, 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>.
- Sehnm, 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>.
- Sehnm, 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>.
- Sehnm, 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>.
- 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. & Sehnm, 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. & Sehnm, S. (2022), The circular economy and Industry 4.0: synergies and challenges, *Revista de Gestão*. (29) 3, 300-313. <https://doi.org/10.1108/REG-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.