

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ANNA JÚLIA SIGRIST

Vias para a escalabilidade de práticas de Economia Circular na agricultura:  
Achados da comunidade científica

São Carlos

2025



**ANNA JÚLIA SIGRIST**

**Vias para a escalabilidade de práticas de Economia Circular na agricultura:  
Achados da comunidade científica**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Seido Nagano

**VERSÃO CORRIGIDA**

São Carlos  
2025

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da  
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

Sigrist, Anna Júlia  
S574v Vias para a escalabilidade de práticas de Economia  
Circular na agricultura: Achados da comunidade  
científica / Anna Júlia Sigrist; orientador Marcelo  
Seido Nagano. São Carlos, 2025.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --  
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de  
São Paulo, 2025.

1. Economia circular. 2. Atividades agrícolas. 3.  
Sustentabilidade. 4. Escalabilidade. I. Título.

# FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): Anna Julia Sigrist

Data da Defesa: 14/11/2025

Comissão Julgadora:

Resultado:

Marcelo Seido Nagano (Orientador(a))

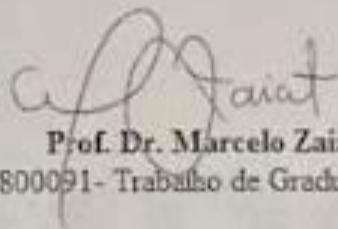
Aprovado

Lucas Gabriel Zanon

APROVADO

Julia Santos Humberto

Aprovada



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação



*Ao meu avô Airton, que apoiou e acreditou no meu trabalho mesmo quando significou estar longe de casa.*



## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua infinita bondade e por seu amparo em momentos de cruz que precisei enfrentar, mantendo meu coração em paz.

Aos meus pais, Fernando e Ariella, por serem meus exemplos de empenho, doação e resiliência, pelas oportunidades que me deram sem medir esforços e pelo constante incentivo à minha formação como pessoa e profissional. Seus valores me guiam nesta longa estrada da vida e o que nela eu obtiver de bom dedico ao amparo sem fim que recebi de vocês.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Seido Nagano, e à minha amiga de laboratório, Me. Júlia Santos Humberto, que acreditaram no meu potencial e sempre me apresentaram as portas que nosso empenho poderia abrir. Agradeço especialmente pela paciência durante minha formação, pelas oportunidades que me foram confiadas e pelos incontáveis ensinamentos ao longo dos projetos que desenvolvemos.

Aos meus professores da USP, pela excelência em conduzir minha formação e pelos diversos aprendizados que carregarei para sempre, e aos colaboradores da universidade, por fornecerem toda a estrutura necessária ao desenvolvimento dos que compõem a instituição. Agradeço, sobretudo, àqueles companheiros presentes em momentos de trocas de experiências e discussões valiosas, sem as quais eu não evoluiria profissional e academicamente.

À minha família, pela compreensão nos momentos de ausência e pelo contínuo apoio na busca pelos meus objetivos. Em especial, agradeço aos meus irmãos, pelo carinho infinito e pelas alegrias que são para mim, e aos meus avós, minha fonte inesgotável de inspiração.

Ao Vinícius, meu namorado e companheiro, que esteve por perto nesses anos de alegrias e dificuldades envolvidas no meu período de formação até agora. Seu suporte incansável me deu forças para continuar e entregar o meu melhor.

Aos colegas da USP, sobretudo os amigos da Engenharia Ambiental, pelo companheirismo na vida em São Carlos e nos desafios da caminhada acadêmica, e os da equipe de Atletismo do CAASO, pelo convívio que trouxe leveza aos semestres e pelas felizes experiências que vivemos como time.

Aos colegas do período em que estive no Porto, realizando o sonho de estudar no exterior. Particularmente, agradeço aos amigos com quem partilhei o lar em Portugal, pelas incontáveis experiências que deixaram saudades e pelo esforço de mantermos o laço mesmo com o distanciamento geográfico que se seguiu, e aos colegas e professores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pela acolhida e pelos ensinamentos valiosos e saudosos.

Por fim, agradeço a todos que participaram dessa caminhada *sofrida pelas exigências, mas muito construtiva pelas experiências*, e àqueles que, de um jeito ou de outro, colaboraram com a realização desse sonho.



*“Mais l’homme ne jouit longtemps et sans remords  
Que des biens chèrement payés par ses efforts”*

(Sully Prudhomme)

## RESUMO

**SIGRIST, A. J. Vias para a escalabilidade de práticas de Economia Circular na agricultura:** Achados da comunidade científica. 2025. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

As atividades agrícolas, ainda que essenciais para a manutenção da vida humana no modo como conhecemos atualmente, são responsáveis por diversos impactos ambientais negativos que devem ser mitigados ou compensados. O modelo circular da economia se apresenta como uma alternativa promissora e eficiente, comprovada pela comunidade científica, para a diminuição da dependência de recursos naturais finitos ao passo que promove a regeneração da natureza, atua na redução de externalidades negativas do modelo linear de produção e consumo e fecha ciclos materiais e energéticos para aumentar a autossuficiência do setor agrícola. Apesar de sua relevância para atingir as metas propostas, o ganho de escala dos modelos circulares ainda carece de estudos direcionados a promovê-lo. O objetivo deste trabalho é compreender fatores centrais de gestão e de gerenciamento das atividades agrícolas que viabilizem a escalabilidade de práticas circulares no campo, ou seja, identificar condutas ou atividades que possam ser incorporadas e/ou encorajadas pelas partes interessadas a fim de ampliar o emprego do modelo circular na agricultura. Para isso, a metodologia se baseou em uma revisão sistemática da literatura, complementada por observações bibliométricas e análises de conteúdo. Seus resultados incluíram a identificação de 33 fatores de escalabilidade em diferentes frentes da gestão de transição para o modelo circular, evidenciando múltiplas responsabilidades e oportunidades ao longo da cadeia agrícola, de modo a fornecer uma visão clara sobre estratégias e medidas a serem tomadas para viabilizar sua ampla aceitação no modelo econômico atual e promover meios de agricultura mais sustentável. Os fatores identificados foram distribuídos em cinco eixos amplos: Institucional, Político, Técnico, Social e Gestão. Como implicações e conclusões do trabalho, é reconhecido o caráter multifacetado da gestão de mudança para a circularização da agricultura e, portanto, é fornecida a identificação sistemática dos fatores decisivos para a ampliação da adoção dessas práticas, de modo que se oferece um guia conceitual com vias de implementação da circularidade de atividades agrícolas e sua conduta de modo que estas sigam os princípios da Economia Circular.

Palavras-chave: Economia circular. Atividades agrícolas. Sustentabilidade. Escalabilidade.



## ABSTRACT

**SIGRIST, A. J. Pathways to scaling Circular Economy practices in Agriculture:** Findings from the scientific community. 2025. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

Agricultural activities, although essential for maintaining human life as we currently know it, are responsible for numerous negative environmental impacts that must be mitigated or reduced. The circular economy model presents itself as a promising and efficient alternative, supported by the scientific community, to reduce dependence on finite natural resources while promoting nature regeneration, reducing the negative externalities of the linear production and consumption model, and closing material and energy loops to increase the agricultural sector's self-sufficiency. Despite its relevance for achieving the proposed goals, the scaling up of circular models still lacks studies specifically aimed at promoting it. The aim of this study is to understand key management and operational factors in agricultural activities that enable the scalability of circular practices in the field, or to identify behaviors or activities that can be adopted and/or encouraged by stakeholders in order to expand the application of the circular model in agriculture. To achieve this, the methodology relied on a systematic literature review, complemented by bibliometric observations and content analyses. The results included the identification of 33 scalability factors across different fronts of transition management toward the circular model, highlighting multiple responsibilities and opportunities throughout the agricultural chain, thus providing a clear view of the strategies and measures to be taken to enable its broad acceptance within the current economic model and promote more sustainable forms of agriculture. The identified factors were grouped into five major axes: Institutional, Political, Technical, Social, and Management, as implications and conclusions, the work recognizes the multifaceted nature of change management for the circularization of the agricultural model and therefore provides a systematic identification of the decisive factors for expanding the adoption of these practices, offering a conceptual guide with implementation pathways and steps for circularizing agricultural activities in accordance with Circular Economy principles.

Keywords: Circular economy. Agricultural activities. Sustainability. Scalability.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Diagrama Sistêmico da Economia Circular (ou Diagrama da Borboleta) .....	32
Figura 2 – Exemplo de arcabouço para a circularidade no ciclo de vida (cultivo, comercialização e consumo) do abacate <sup>1</sup> .....	37
Figura 3 – Fluxograma PRISMA para a coleta de trabalhos .....	52
Figura 4 – <i>Three-field plot</i> para autores, palavras-chave e países na bibliografia .....	63
Figura 5 – <i>Treemap</i> de palavras-chave na bibliografia .....	64
Figura 6 – Mapa temático da bibliografia .....	65
Figura 7 – Quadro de fatores e oportunidades de promoção da escalabilidade da EC na agricultura .....	79

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Critérios de inclusão e exclusão da coleta de trabalhos nas bases de dados.....	51
Tabela 2 – Trabalhos incluídos na pesquisa e seus respectivos detalhamentos .....	56
Tabela 3 – Informações bibliográficas da amostra de trabalhos incluídos no estudo .....	61



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
EC	Economia Circular
EUA	Estados Unidos da América
GEE	Gases de Efeito Estufa
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
O&M	Operação e Manutenção
PP	Pergunta de Pesquisa
PPP	Parceria Público-Privada
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SBN	Soluções Baseadas na Natureza
SSNM	<i>Site-Specific Nutrient Management</i>
TRL	<i>Technology Readiness Level</i>
WoS	<i>Web of Science</i>



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	23
2 OBJETIVOS.....	27
2.1 Objetivo Geral .....	27
2.2 Objetivos Específicos .....	27
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
3.1 Economia Circular.....	29
3.2 Agricultura Circular.....	33
3.3 Escalabilidade do modelo circular na agricultura.....	37
4 METODOLOGIA.....	49
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
5.1 Bibliometria.....	61
5.2 Análise de conteúdo.....	66
5.2.1 Institucional .....	66
5.2.1.1 Parcerias intersetoriais e articulação de interesses .....	66
5.2.1.2 Arranjos institucionais e soluções financeiras.....	67
5.2.1.3 Intermediação de mercado, terminais e segurança de demanda .....	68
5.2.1.4 Digitalização e interoperabilidade .....	68
5.2.1.5 Resiliência das cadeias de suprimento.....	68
5.2.1.6 Pesquisa aplicada e desenvolvimento institucional .....	69
5.2.2 Político.....	69
5.2.2.1 Financiamentos, P&D e PPPs.....	69
5.2.2.2 Regulação pró-inovação e normas de mercado .....	70
5.2.2.3 Infraestrutura territorial, hubs e desenvolvimento de mercado .....	70
5.2.2.4 Governança, transparéncia e monitoramento .....	71
5.2.2.5 Capacitação, inclusão social e preparação regulatória .....	71
5.2.3 Técnico .....	72
5.2.3.1 Eficiência energética e engenharia de processos .....	72

5.2.3.2 Valorização de resíduos e diversificação de produtos .....	72
5.2.3.3 Manejo nutricional, alternativas circulares e biossegurança .....	73
5.2.3.4 Infraestrutura modular, logística e hubs territoriais.....	73
5.2.3.5 TRL, digitalização e capacitação técnica .....	73
5.2.4 Social .....	74
5.2.4.1 Capacitação e difusão de conhecimento .....	74
5.2.4.2 Transição a partir de escala local e valores comunitários .....	75
5.2.5 Gestão .....	75
5.2.5.1 Gerenciamento de cadeias e coordenação coletiva.....	75
5.2.5.2 Infraestrutura, tecnologias e diversificação de produtos .....	76
5.2.5.3 Ambiente institucional, incentivos e pesquisa aplicada .....	77
5.3 Perspectivas para a escalabilidade do modelo circular na agricultura.....	77
6 CONCLUSÕES .....	80
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	82
REFERÊNCIAS .....	84

## 1 INTRODUÇÃO

O conceito de economia circular (EC) tem alcançado posições de destaque nas agendas políticas e governamentais de diversos países (Díaz *et al.*, 2024). Entre outros fatores, a crescente relevância da EC decorre de sua capacidade de oferecer alternativas viáveis frente ao desafio iminente de escassez de recursos enfrentada pelas sociedades contemporâneas em seus processos urbano-industriais, propondo meios de produção, consumo e gestão que minimizem as perdas físicas e energéticas, além de mecanismos para aumentar o tempo de permanência dos materiais na economia, isto é, sem que se tornem resíduos (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Esse sistema econômico de produção mantém o fluxo circular de recursos e associa a atividade econômica à gestão circular dos mesmos, adicionando, retendo ou recuperando seu valor com base nos princípios de não geração de resíduos, circulação de produtos e materiais e de regeneração (Brasil, 2024). Contrariando a lógica linear baseada na extração de recursos naturais, seu processamento industrial, manufatura de produtos e descarte ao fim da vida útil, a EC propõe a reintrodução de material residual no ciclo produtivo de modo a valorizá-lo como matéria-prima. Essa prática, associada a medidas de manutenção, reparos, reutilização, redução e remodelação ao longo das cadeias de produção e consumo, atua minimizando as perdas e a necessidade por materiais virgens relacionados à lógica linear de produção (Mehmood *et al.*, 2021).

Atividades altamente consumidoras de insumos ou geradoras de grandes quantidades de resíduos são segmentos fecundos para viabilizar a implementação da EC, pois a lógica circular tem potencial para minimizar a dependência de matéria-prima virgem e os impactos associados aos subprodutos dessas atividades. Nesse sentido, o setor agrícola desempenha um papel estratégico para a circularização, pois é altamente consumidor de recursos naturais, como água, terra e nutrientes, e, ao fim da cadeia produtiva, é responsável pela geração de grandes volumes de resíduos sólidos, os quais incomumente são reaproveitados na cadeia de valor da produção agrícola (Hoof *et al.*, 2024). Barros *et al.* (2020) discutem sobre os benefícios e os meios de implementação da EC no setor agrícola, indicando-a como uma proposta promissora para assegurar o crescimento econômico em face do limite e da progressiva escassez de recursos, além de oferecer um caminho para os negócios em expansão. Aspectos negativos relacionados ao setor agrícola, como o alto índice de desperdício de alimentos e a recorrente depleção da qualidade do solo associada aos cultivos, podem ser minimizados pela implementação de práticas relacionadas à EC, como a circularização de resíduos agrícolas e o uso de biofertilizantes (Craparo, Montero e Peñalver, 2023). Para além da perspectiva ambiental e

econômica como fomento à implementação de medidas circulares para otimizar o uso de matéria-prima, a potencialidade da circularização no setor ampara possíveis soluções para preocupações globais atuais, como a transição energética e a segurança alimentar (Duque-Acevedo *et al.*, 2020b; Nair, Agrawal e Verma, 2022). Esse cenário faz do setor da agricultura um campo promissor para a implementação da EC, embora ainda se enfrentem desafios financeiros, tecnológicos, sociais e culturais para viabilizar suas práticas (Angulo, Batista e Caicedo, 2024).

Os múltiplos desafios associados ao aumento de escala de práticas circulares na agricultura tornam o tema um campo prolífico para o desenvolvimento de pesquisas em diferentes áreas do conhecimento, pois as problemáticas relacionadas à sustentabilidade da produção agroalimentar constituem uma pauta de interesse interdisciplinar. Nesse sentido, entende-se a escalabilidade como o processo associado ao alcance do nível panorâmico de uma determinada solução proposta, ao passo que deixa de ser apenas uma solução de nicho. Mobilizando pesquisadores, entidades políticas, agentes de desenvolvimento tecnológico e usuários/consumidores, a solução passa a exercer influência direta nos atores da cadeia econômica e alterar o ambiente de hábitos e padrões pré-existentes a nível macro, ganhando tração no mercado, disponibilidade para consumidores e poder de impacto no setor como um todo (Siegel; van Leeuwen, 2025). Velasco-Muñoz *et al.* (2021) apontaram para a necessidade dos esforços científicos para aumentar a eficiência e diminuir as externalidades negativas da agricultura através de práticas de EC, mas salientaram o protagonismo do entendimento sobre como essas práticas operam e como poderiam ser implementadas no setor. Assim, entende-se que é de fundamental importância para a efetiva implementação em larga escala das soluções de EC nas cadeias agrícolas que a comunidade científica compreenda o estágio de maturidade e de produção da literatura especializada, em vistas de identificar potenciais campos de investigação minuciosa, esclarecer o cenário global do desenvolvimento dessas iniciativas circulares e apontar fatores que favoreçam essa aplicação no setor agrícola. Embora estudos anteriores discutam a necessidade de implementar práticas circulares na agricultura e reconheçam desafios estruturais, ainda é limitada a compreensão integrada dos fatores que viabilizam a implementação dessas práticas em larga escala. Nesse sentido, é proposta uma avaliação da produção científica sobre o tema, a fim de extrair percepções sobre as vias de escalabilidade de práticas de EC na agricultura.

Pretende-se, portanto, avaliar a bibliografia acadêmica em torno dos agentes que fomentem o ganho de escala do modelo circular aplicado à agricultura, compreender seu estágio

de maturidade e identificar eventuais lacunas na produção, de modo que foram desenvolvidas as seguintes perguntas de pesquisa (PP) para guiar o trabalho:

PP1: Quais são as principais linhas de pesquisa com foco em escalar práticas de EC na agricultura?

PP2: Quais são os fatores de gestão e gerenciamento decisivos para escalar práticas de EC na agricultura?

PP3: Quais agendas de pesquisa se desenham para avançar o estudo da escalabilidade do modelo de EC na agricultura?

Em vista disso, essa pesquisa se propõe a fazer uma revisão sistemática da literatura (RSL), englobando abordagens de bibliometria, através de programação em ambiente R, e análise de conteúdo, conforme descrito por Bardin (2006), em trabalhos obtidos em bases de dados científicas, com o objetivo de identificar estratégias e conceitos centrais no escalonamento de práticas circulares na agricultura.

Para atingir esses objetivos, o trabalho está estruturado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta os objetivos geral e específicos. O Capítulo 3 aprofunda a revisão da literatura sobre EC, agricultura e escalabilidade. O Capítulo 4 detalha os procedimentos metodológicos. O Capítulo 5 apresenta e discute os resultados das análises. Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões, e o Capítulo 7 incorpora implicações, limitações e considerações finais sobre o trabalho conduzido e a agenda futura.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é compreender fatores centrais de gestão e de gerenciamento das atividades agrícolas que viabilizem a escalabilidade de práticas circulares no setor, buscando compilar os achados da literatura científica e fornecer um guia conceitual rápido para implementação em ampla escala de princípios da EC e circularização de práticas agrícolas, diminuindo a geração de resíduos e poluentes, estendendo a vida útil de produtos e insumos agrícolas e promovendo a agricultura regenerativa.

### 2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho foram elaborados de modo a responder às PPs elencadas no capítulo anterior. São eles:

- I. Identificar métricas bibliográficas da produção científica sobre o tema de escalabilidade de práticas de EC na agricultura (PP1, PP3);
- II. Discutir as oportunidades de escalar o modelo circular na agricultura (PP2);
- III. Elaborar um quadro que sumarize oportunidades para escalar práticas de EC no setor agrícola e funcione como guia para agentes tomadores de decisão (agricultores, investidores, instituições de pesquisa, entidades governamentais) implementarem práticas circulares em negócios agrícolas (PP2).



### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Esse capítulo apresenta a fundamentação teórica que sustenta esta pesquisa. Essa fundamentação não constitui a RSL, que é o resultado deste trabalho e se apresenta no Capítulo 5, mas estabelece conceitos-chave (EC, agricultura e escalabilidade) e o estado da arte que justificam a necessidade de conduzir tal RSL.

#### **3.1 Economia Circular**

A EC já foi definida de muitas maneiras e por diversos autores, motivados pela popularidade do conceito atualmente, o que tende a tornar sua definição, em certo grau, difusa. Apesar disso, há ideias-chave em comum na maior parte dos significados atribuídos ao conceito, como a redução no uso de matéria-prima virgem, a diminuição da geração de resíduos e o aumento da vida útil dos produtos através do *design* ecológico e da manutenção corretiva. Através de práticas que contrariam a lógica linear da economia tradicional, baseada em extrair, produzir e descartar, a EC tem em vista alcançar benefícios ambientais e sociais pela máxima valoração possível de recursos e deve ser entendida como uma mudança sistêmica nos modos de produção e consumo (Kirchherr; Reike; Hekkert, 2017).

Essa mudança, para ser alcançada, deve envolver fatores multidisciplinares, como o comportamento do consumidor, as políticas governamentais e as práticas empresariais, e subsistemas diversos, como o de energia, o logístico e o econômico. Em termos práticos, circularizar o modo de produção e consumo envolve manter valor na matéria-prima e nos insumos pelo máximo de tempo possível, o que pode ser alcançado por meio de etapas como as propostas pelo conceito de 9 Rs (Van Buren *et al.*, 2016):

1. Recusar: evitar o uso de material virgem;
2. Reduzir: reduzir o uso de material virgem;
3. Reutilizar: reutilizar produtos (aquisições de segunda mão, compartilhamento);
4. Restaurar: manutenção e reparos/restaurações dos produtos;
5. Reformar: reformar produtos;
6. Remanufaturar: produzir novos produtos a partir de (partes de) antigos;
7. Reaproveitar: reutilizar produtos para uma função diferente;
8. Reciclar: processar materiais para gerar novos; e
9. Recuperar energeticamente: incinerar sobras para aproveitamento energético.

Essas práticas atuam na extensão da vida útil dos produtos, o que, por sua vez, gera economia de matéria-prima e diminuição da geração de resíduos. Quando adotadas em larga escala, essas etapas colaboram com a conservação dos recursos naturais e a atividade econômica de setores diversos, especialmente aqueles altamente consumidores de recursos e geradores de resíduos.

As origens do conceito de circularidade da economia remontam ao final do século XX à sua transição para o seguinte, em que foi identificado que os modos de produção vigentes até então eram insustentáveis e que deveria haver uma circularização dos fluxos materiais, que eram lineares até aquele momento, chamada de Ecologia Industrial. Nesse cenário, a relação do contexto industrial com a ecologia foi feita pela observação de que, na natureza, as saídas de um grupo de organismos (matéria orgânica, dióxido de carbono, água) são insumos para a subsistência de outro. Outra observação que deu origem aos questionamentos sobre os modos de produção e consumo da época foi a ampla materialização das necessidades dos consumidores. A tendência de vender produtos ao invés de serviços (por exemplo, a máquina de lavar ao invés do serviço da lavanderia) aumenta a necessidade por recursos naturais e, consequentemente, a pressão ambiental e, no caso da economia linear, a geração de resíduos e de poluição. A partir disso, observou-se que os impactos negativos da economia linear poderiam ser diminuídos se fossem desenvolvidas tecnologias de reaproveitamento de resíduos e de valorização da matéria com base no conceito dos 9 Rs, além da diminuição do consumo material propriamente dito, o que dá origem ao conceito de EC em sua forma mais elementar (Nakajima, 2000).

Atualmente, a EC é compreendida como um ecossistema produtivo-consuntivo alternativo à economia extrativista, se atentando a produtos inteligentes, de base biológica, modulares, de baixa pegada ambiental e que possam ser reintroduzidos no ciclo industrial a partir da logística reversa e da atratividade econômica de seus componentes, bem como à estruturação de uma simbiose industrial, que facilite a conexão de empresas que usam como insumo o material que para outras é infrutífero. Entendendo a EC como uma abordagem sistêmica, Morseletto (2020) mostrou como há complementaridade na adoção de estratégias para implementar a EC, a exemplo do design ecológico (ou *ecodesign*) que, quando aplicado à concepção do produto, tende a colaborar com circularidade em seu ciclo de vida, ou como a estratégia de reduzir o consumo afeta as pressões sobre a reciclagem, uma vez que incentiva a diminuição da quantidade de materiais que circulam no mercado.

A EC tem como princípios a eliminação de resíduos e de poluição, a regeneração da natureza e a circulação de produtos e materiais a fim de obter máximo proveito de seu valor.

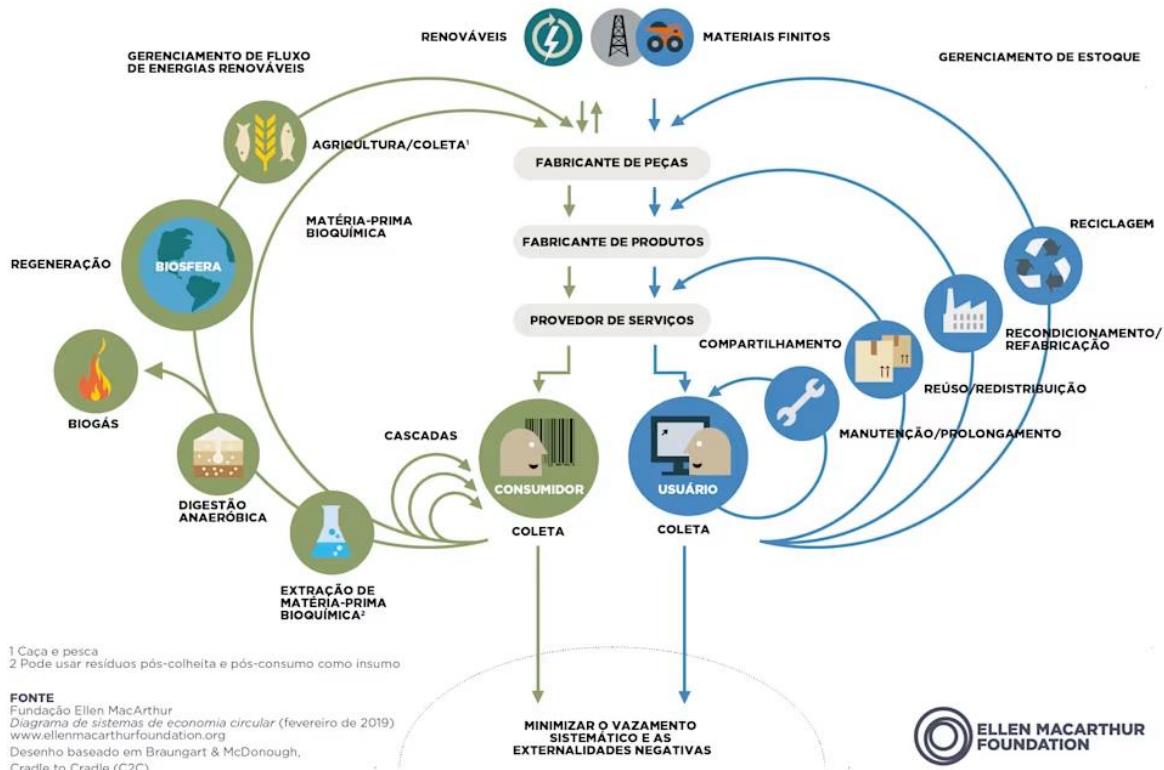
Apesar de atuarem em eixos distintos (gerenciamento de entradas, de saídas e do ciclo), esses princípios são frequentemente entendidos como tangíveis, sobretudo, através do design, em especial da maneira como concebemos os modos de produção e consumo. Para compreender esses princípios, deve-se observar a insustentabilidade do modelo econômico atual, baseado em extração, consumo e descarte de uma forma linear. Repensando esse sistema de modo a evitar a depleção e o esgotamento dos recursos naturais, é concebida a circularidade como um design econômico mais sustentável (Ellen MacArthur Foundation, 2024).

A eliminação dos resíduos e da poluição pode ser atingida através do design inteligente de produtos, materiais e infraestrutura para retorná-los ao ciclo econômico após sua utilização. O design, quando concebido sob a luz da reciclagem, compostagem ou reaproveitamento, viabiliza a sustentabilidade para o ciclo de vida do produto, pois oferece opções de reintegração à natureza ou à ecologia industrial quando chega o “fim de sua vida útil”. Opostamente, produtos e materiais que não contemplem essa oportunidade em sua concepção ou produção tendem a se tornar resíduos ou fontes de poluição ao fim de sua vida útil, atuando linearmente nos ciclos produtivos e consuntivos. O emprego de materiais de base biológica, por exemplo, uma das abordagens de EC mais utilizadas atualmente, ganha espaço na concepção inteligente de produtos e promove a circularidade da sua cadeia por oferecer a possibilidade de reintegração à natureza ao fim de sua vida útil, podendo ser interpretado como insumo natural, sem configurar uma fonte de poluição (Ellen MacArthur Foundation, 2022a).

O princípio de regeneração da natureza se refere à preservação e à melhora das condições ecossistêmicas através da substituição dos recursos finitos pelos recursos renováveis, e pode vir com a recirculação de material orgânico (valorização de resíduo ou *waste-as-value*), como o proveniente da indústria alimentícia, seguindo os fluxos naturais de reciclagem de nutrientes e carbono. Esse princípio se baseia na ideia de que, ao preterir a linearidade da economia para promover sua circularidade, dá-se apoio aos processos naturais e cria-se espaço para que a natureza prospere e, assim, possa se regenerar. Esses benefícios são atingidos pela menor pressão direcionada ao meio ambiente, uma vez que a manutenção de materiais no ciclo produtivo dispensa a grande necessidade de recursos naturais, como água, solo, madeira e minérios. Desassociando a atividade e a lucratividade econômica da extração de recursos da natureza, há menor demanda por áreas direcionadas à coleta de insumos (agricultura intensiva, atividades mineradoras, plataformas de petróleo), o que viabiliza o restabelecimento de espécies, a sucessão ecológica, a despoluição dos recursos hídricos e, consequentemente, a recuperação ambiental (Ellen MacArthur Foundation, 2022b).

Circular produtos e materiais torna-se factível com o emprego do conceito dos 9 Rs, pelos quais a matéria permanece mais tempo na cadeia de valor, agregando e mantendo valor por mais tempo, aumentando sua vida útil. Assim, preserva-se materiais finitos (como metais, plásticos, minerais) na economia ao invés de enviá-los de volta à natureza sob a possibilidade de se tornarem resíduos. Os materiais biodegradáveis, por outro lado, podem retornar ao meio ambiente sem causar danos, pois serão reintegrados ao ciclo biológico como matéria-prima. Ao propor a ciclagem de produtos e materiais na economia, pode-se pensar em dois subciclos que podem ser usados como vias para atingir a EC: o ciclo técnico e o ciclo biológico. O primeiro sugere o reaproveitamento, os reparos e a remanufatura, propondo mudanças técnicas que conservem útil o produto. Essas mudanças podem ser aplicadas ao longo de toda a cadeia, sendo responsabilidade de designers, produtores e consumidores. O ciclo biológico, por outro lado, trabalha com os processos naturais para manter a utilidade do material, transformando-o e/ou reaproveitando-o através de processos bioquímicos para agregar valor ao que seria previamente considerado resíduo. Algumas dessas vias incluem a digestão anaeróbia de matéria orgânica, a obtenção de bioproductos de valor e a compostagem. A Figura 1 ilustra esses dois ciclos, conhecidos juntos como Diagrama da Borboleta.

Figura 1 – Diagrama Sistêmico da Economia Circular (ou Diagrama da Borboleta)



Fonte: Ellen MacArthur Foundation (2022c)

A parte esquerda do diagrama representa os ciclos biológicos, em que os materiais são biodegradáveis e podem ser reintegrados à biosfera sem representar perigo ao ecossistema ou à saúde humana. Eles são interessantes especialmente para os produtos de base biológica, como os agroalimentares, a madeira e o algodão, podendo ser interpretados como insumos para processos naturais (fotossíntese, digestão anaeróbia, etapas dos ciclos biogeoquímicos) quando não apresentam mais utilidade ou alternativas viáveis de aproveitamento nas atividades humanas.

A parte direita do diagrama, por outro lado, apresenta o ambiente técnico (podendo ser entendido como o antrópico) das possibilidades de reaproveitamento de materiais e produtos, especialmente aqueles que são usados ao invés de consumidos. Ao preferir alternativas que diminuam o *loop*, o valor do produto é maximizado e desenvolve-se uma economia de custos para os consumidores e as empresas por viabilizar sua funcionalidade sem depender do investimento em um novo (Ellen MacArthur Foundation, 2022c). No ciclo técnico, Ellen MacArthur Foundation (2022d) retoma o conceito dos 9 Rs, elencando a ordem de prioridade no uso e manutenção de produtos que se posicionam no ciclo técnico, para os quais deve ser observada a possibilidade de reutilizar, restaurar, reformar, remanufaturar e, em último caso, reciclar, em vista de atingir uma economia mais circular.

A partir da lógica de fechamento de ciclos e valorização de recursos, apresenta-se pertinente a discussão sobre como tais princípios podem ser incorporados à agricultura, setor que se enquadra entre os mais intensivos em insumos e demandantes de soluções circulares e sustentáveis. Com a circularização das práticas agrícolas, pode-se atingir o objetivo de desassociar o rendimento econômico e a produtividade rural do modelo linear convencional altamente consumidor de recursos, promovendo a sustentabilidade da agricultura (Velasco-Muñoz *et al.*, 2021).

### **3.2 Agricultura Circular**

A crescente demanda global por fornecimento de alimentos, ao lado dos desafios associados ao desperdício e à distribuição alimentar, tem guiado as atividades agrícolas a serem intensificadas e modernizadas como resposta ao cenário de insegurança alimentar. Dentre as pressões do setor, destacam-se o crescente requisito por área e a necessidade de aumentar a produtividade, associados ao desflorestamento, ao aumento dos processos erosivos e uso expressivo de fertilizantes e herbicidas (Kross; Kaur; Jaeger, 2022). O expressivo consumo de

água para irrigação também constitui um ponto de alerta, uma vez que a produção agrícola demanda, em média, 70% da água doce disponível para consumo (isto é, aquela em estado líquido), o que torna o setor o principal agente colaborador para a depleção dos recursos hídricos (Chen; Feng; Ma, 2020; Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 2009).

Além dos processos físicos e químicos observados na agricultura moderna, a questão climática é alvo de numerosos estudos e, ainda assim, prejudicada com a produção intensiva, pois a remoção de vegetação nativa e o uso de compostos à base de nitrogênio e fósforo, requisitos para o desenvolvimento de muitas espécies vegetais, somam cerca de 10% das emissões de gases do efeito estufa (GEE) de fontes antropogênicas, sendo a etapa produtiva do setor agroalimentar a principal responsável (Friel *et al.*, 2009).

Ainda que barreiras técnicas e socioculturais na circularização no setor agrícola venham sendo superadas pelo desenvolvimento de tecnologias e pela crescente preocupação sobre o tema, permanecem os desafios relacionados à definição de estratégias eficazes de gestão da transição, o que evidencia a importância de uma integração ecossistêmica capaz de sustentar as transformações na cadeia agroalimentar, envolvendo as múltiplas partes interessadas (agentes governamentais e regulatórios, produtores, consumidores). Uma das barreiras relacionadas à gestão da mudança para a circularidade é, para além dos termos materiais e energéticos, o movimento de substituição nos padrões econômicos e no modelo de vida atuais, alterando a economia tradicional e a gestão de recursos adotadas anteriormente por um modelo que redesenhe o ciclo de vida dos processos e sua relação com o meio ambiente e a economia em que estão inseridos, buscando a promoção da sustentabilidade e da regeneração de recursos efetivas (Holden *et al.*, 2022). Esse aspecto se torna mais desafiador em termos da escala de mudança, que deve ocorrer mobilizando tanto agentes, como produtores agrícolas, organizações e governos, quanto setores produtivos, em suas etapas de cultivo, criação, processamento industrial, distribuição e comercialização, para ser eficiente na circularização da cadeia.

No intuito de obter melhor desempenho socioambiental através das práticas empregadas, o setor se direciona a objetivos associados à conservação do capital natural, da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, através do aumento da qualidade do solo e da redução de desperdícios e do uso de terras. Para tal, reafirma-se a necessidade de que o setor mobilize produtores primários e suas diversas partes interessadas, a exemplo de clientes, consumidores, investidores, agentes políticos, indústrias de transformação e distribuidores. Essas medidas vão de encontro com a emergente atenção aos meios de gestão que priorizem a

transição de uma cadeia produtiva linear e o florescimento de estratégias de EC (Esposito *et al.*, 2020).

Sendo um dos setores econômicos com maior produção de biomassa e um grande potencial para a EC e a bioeconomia, a agricultura contribui para o estabelecimento de mercados verdes, o crescimento de iniciativas de valorização de biomassa e a descarbonização da economia mundial. Além dos ganhos de mercado e de sustentabilidade, as iniciativas de EC no setor agrícola, como o uso eficiente dos recursos, são vias para o atingimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), a exemplo de ODS 2 “Fome zero”, ODS 11 “Cidades e Comunidades Sustentáveis”, ODS 12 “Consumo e Produção Responsáveis” e ODS 13 “Combate às Alterações Climáticas”, e a mitigação das mudanças do clima (Duque-Acevedo *et al.*, 2020a; Holden *et al.*, 2023).

Em estudos sobre a circularização dos ciclos de resíduos orgânicos e águas residuárias, amplamente observados no setor agroindustrial, Bakan *et al.* (2022) salientaram que, por anos, a especialização, a concentração e a busca pela economia de escala motivaram o sistema manufatureiro a atingir seu máximo potencial produtivo; apesar disso, o observado como possível solução frente aos desafios de sustentabilidade enfrentados atualmente é que os esforços devem se direcionar a diminuir a escala mercadológica, desenvolvendo economias locais e promovendo alternativas descentralizadas para o fornecimento de insumos, produtos e alimentos e o gerenciamento de resíduos. Os movimentos de diminuição da escala produtiva-consuntiva combatem a perda de valor ao longo da cadeia, pois envolve e fortalece múltiplas partes interessadas, facilita o gerenciamento de recursos e resíduos através da proximidade geográfica dessas partes, propicia o desenvolvimento de sinergias para soluções baseadas em valorização de resíduos (*waste-to-value*) e atua no pilar social da sustentabilidade através da inclusão de múltiplos agentes da cadeia de valor.

Com a ciência de que a agricultura se tornou um dos maiores e mais importantes setores econômicos em muitos países e um dos maiores geradores de emprego no mundo, entende-se a transição para uma agricultura mais circular e sustentável é uma prioridade, fundamentada na prevenção de impactos ambientais, ao lado da regeneração da natureza proposta por Ellen MacArthur Foundation (2022b), através da adoção de sistemas tecnológicos e inovadores (Duque-Acevedo, 2020a).

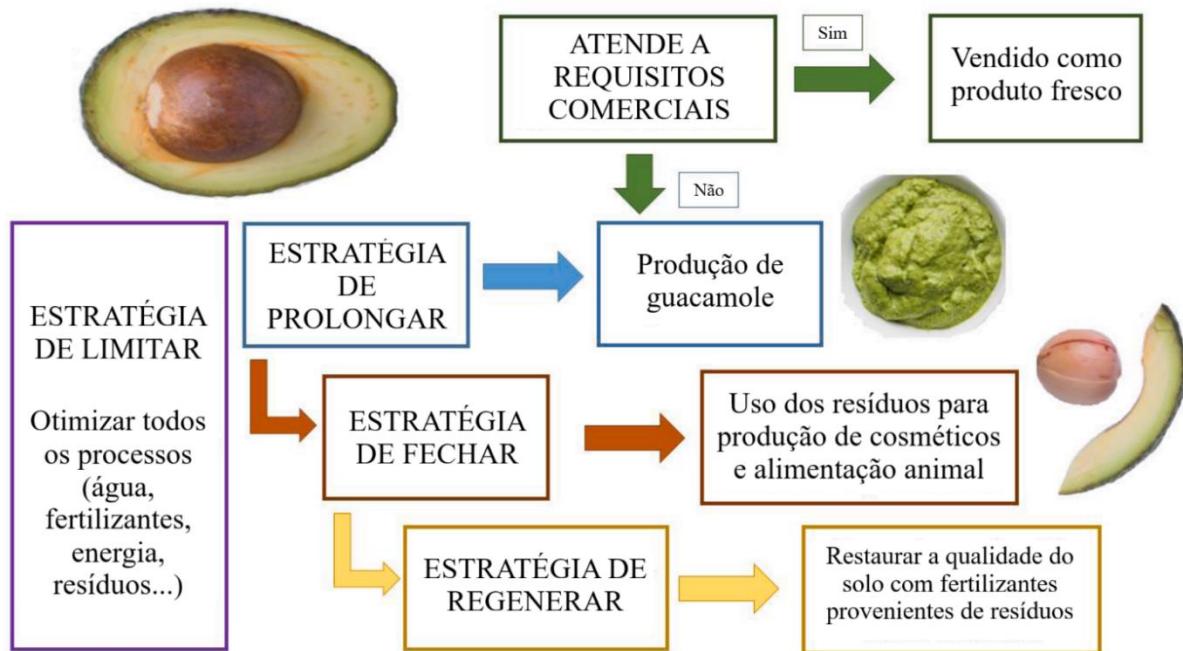
Pomoni *et al.* (2024) salientam que na agricultura, que é uma grande fonte de geração de biomassa animal e vegetal inaproveitada e de consumo de fertilizantes agrícolas, materiais associados a emissões significativas de GEE, o gerenciamento adequado e o reaproveitamento de resíduos com tratamento prévio são soluções promissoras para diminuir as quantidades

descartadas como inservíveis, reduzir a pegada de carbono e atuar na circularização do setor agrícola.

Velasco-Muñoz *et al.* (2021) desenvolveram quatro estratégias principais para atingir modelos agrícolas circulares, com base nos princípios da EC: i) limitar os ciclos dos recursos, ii) prolongar (ou desacelerar) os ciclos dos recursos, iii) fechar os ciclos dos recursos e iv) regenerar os fluxos dos recursos. A primeira estratégia consiste em adotar soluções ecoeficientes para reduzir tanto a intensidade do uso de recursos quanto os impactos ambientais gerados por unidade de produto ou serviço, aprimorando a eficiência em termos de nutrientes, custos, materiais, energia e suas externalidades, como emissões de GEE, poluição hídrica e substâncias tóxicas. Essa estratégia se baseia na concepção do planeta Terra como um sistema econômico no qual meio ambiente e economia estão interligados em uma relação circular. A segunda estratégia se fundamenta em prolongar e intensificar o uso dos produtos para manter seu valor ao longo do tempo (o máximo possível). Ainda que a estratégia não seja tão clara para os produtos biológicos quanto para os técnicos, facilmente relacionados com o princípio dos 9 Rs, há formas de valorizar os bens agrícolas estendendo sua vida útil. A principal via de desacelerar o ciclo desses insumos é prevenir seu descarte precoce, isto é, sem que eles sejam consumidos como alimento humano. A terceira estratégia busca fechar ciclos de recursos através da criação de valor com base no reúso e na reciclagem dos materiais que já tenham sido usados para sua função principal (por exemplo, alimentação humana). A última, com o objetivo de regenerar fluxos biológicos, inclui todas as ações que buscam preservar e aumentar o capital natural, como a utilização de fertilizantes orgânicos, a rotação de culturas e a associação de espécies que promovam a agrobiodiversidade nos cultivos.

A Figura 2 ilustra um exemplo de aplicação das estratégias para alcançar modelos circulares de agronegócio na comercialização de abacates.

Figura 2 – Exemplo de arcabouço para a circularidade no ciclo de vida (cultivo, comercialização e consumo) do abacate<sup>1</sup>



Fonte: Adaptado de Velasco-Muñoz *et al.* (2021)

<sup>1</sup>Notas: As formas verdes representam os estágios de cultivo e comercialização como produto fresco; as azuis, à produção de alimento derivado; as laranjas, a fase de transformação fora da cadeia alimentar; as amarelas, a fase de fim de vida; por fim, a roxa engloba a totalidade do processo, orientado por melhorias e otimização.

Tendo como ponto de partida os impactos ambientais e socioeconômicos gerados e progressivamente intensificados pelo modelo linear de produção e consumo, a implementação da EC vem como resposta a desafios críticos enfrentados pelo setor agrícola, sem perder de vista a garantia de alimentos em quantidade e qualidade suficientes (Pomoni *et al.*, 2024). Ainda que existam soluções técnicas que promovem a EC, elas devem ser acompanhadas por mudanças nas práticas sociais cotidianas a fim de que seus efeitos sejam apropriadamente observados. A escalabilidade do modelo circular é, nesse sentido, uma via de transição das soluções nichadas para o nível de sociedade (Siegel; van Leeuwen, 2025).

### 3.3 Escalabilidade do modelo circular na agricultura

De modo geral, as práticas de EC nas atividades agrícolas ainda se restringem à pequena escala, podendo ser observadas em pequenos negócios e comunidades rurais que aplicam métodos de reaproveitamento de biomassa, valorização de resíduos e agricultura regenerativa, com poucos casos em escala meso ou macroeconômica. Nesse sentido, e para que avance o

modelo circular nesse setor da economia, faz-se necessário ampliar sua atuação para larga escala, o que requer a articulação de diferentes atores em múltiplas frentes de atuação, englobando fatores técnicos, econômicos, socioculturais e de gestão. Para alcançar plenamente os benefícios da EC, ampliar a escala de influência de suas práticas é preciso (Shawky; Gibbons; Selim, 2025).

A expansão das inovações propostas pela EC exige, para além do crescimento econômico, articulação em múltiplos níveis. As iniciativas observadas e/ou aplicadas em pequena escala de produção agrícola têm potencial de transformar o setor como um todo, contanto que se fortaleça no âmbito institucional, se adapte a diferentes contextos geográficos e esteja acompanhada de mudanças culturais. Esse processo, que pode ser denominado de transição sociotécnica, se baseia na coexistência de avanços tecnológicos e alterações nas práticas sociais de forma a gerar impactos sólidos e duradouros. Na prática, isso se reflete em modelos de negócio que, ao ganhar relevância no mercado, se tornam acessíveis a públicos diversos e influenciam padrões pré-existentes em suas áreas de atuação. Essas interações mercadológicas e sociotécnicas são tidas na literatura como caminhos de transição ou escalabilidade para que soluções de nicho sejam incorporadas ao contexto amplo (Johnston; Baker, 2005; Moore; Riddell; Vocizano, 2015; Siegel; van Leeuwen, 2025).

A escalabilidade do ecossistema circular também pode ser definida por sua capacidade de crescer, responder ao aumento de demanda e produção e fornecer recursos, estruturas e competências necessários para a sustentação da EC (Cerqueus; Delorme, 2023; Koren; Wang; Gu, 2017). Ainda que existam definições e estudos com casos econômicos específicos, a literatura sobre a escalabilidade das práticas circulares ainda é, no geral, escassa. Considerando a importância da escalabilidade do modelo circular para avançar na mudança sistêmica da economia e superar desafios na implementação da EC, essa lacuna no conhecimento científico é surpreendente (Sgambaro; Kaipainen; Chiaroni, 2025), o que subsidia a realização desse estudo.

A revisão da literatura mostrou que produção científica sobre os fatores de gestão e gerenciamento do agronegócio que influenciam a capacidade de escalar modelos circulares é, ainda, bastante incipiente, datando publicações dos últimos 5 anos. Esse cenário de maturidade ilustra a necessidade de esforços da comunidade científica para explorar caminhos que transformem o setor e atuem na aplicação em escala real de práticas circulares observadas em estudos de caso e projetos experimentais.

Abordagens sistêmicas e integrativas, como a apresentada por Demir e Alp (2025) no nexo água-energia-alimentos-ecossistemas, são amplamente citadas como alternativa à

economia linear. Soluções que unem diferentes atores de modo que as saídas de um se mostrem viáveis como insumos de outro promovem a circularidade e têm potencial de ganhar escala de forma horizontal por proporcionarem uma relação de ganha-ganha no setor agrícola; atingida a viabilidade técnica e gerencial dessas iniciativas, passa a ser possível a escalabilidade vertical das medidas, a fim de ganhar proporção e relevância nos cenários econômicos e mercadológicos. Dessa forma, iniciativas envolvendo o nexo água-energia-alimentos-ecossistemas, como o aproveitamento energético de resíduos agrícolas e a extração de nutrientes com valor agronômico de águas residuárias, unidas ao mapeamento de demandas e externalidades nos subsistemas agrícolas, também promovem a segurança de suprimento de recursos e facilitam a tomada de decisão para fortalecer e escalar modelos sustentáveis de produção (Demir e Alp, 2025).

Táticas de fechamento de ciclo em setores estratégicos como as discutidas por Chojnacka *et al.* (2020) promovem a EC ao mesmo tempo que apresentam grande potencial de escalabilidade, pois apresentam soluções sustentáveis para atividades econômicas essenciais para a modernidade, como a agricultura e o saneamento. O emprego de águas residuárias como insumos para a produção de fertilizantes atua na diminuição da demanda por matéria-prima virgem mineral e na valorização de efluentes que, no geral, representam custos de tratamento para os geradores. Estudos de Yakovleva *et al.* (2021) indicaram que a reciclagem de nutrientes, como o fósforo, a partir de efluentes e resíduos alimentares são uma fonte de fertilizantes acessível para pequenos agricultores e oferecem uma alternativa circular à mineração convencional e às grandes rotas de distribuição mundial de insumos agrícolas. Iniciativas que tratam o ciclo material integralmente em uma mesma unidade agrícola são interessantes da perspectiva de autossuficiência da fazenda e de diminuição das cadeias de suprimentos, o que está frequentemente atrelado ao manejo da circularidade (De Pilla Jr.; Pimenta; De Oliveira, 2024). Apesar de ainda haver limitações organizacionais e tecnológicas na viabilização efetiva e ampla de algumas práticas de reaproveitamento de efluentes e resíduos nos cultivos, entende-se que o encorajamento de agricultores e profissionais de saneamento sobre a segurança sanitária e o interesse técnico por trás dessas iniciativas, unido ao financiamento compartilhado por entidades públicas e privadas, é de importância fundamental para a difusão em escala da estratégia (Chojnacka *et al.*, 2020).

O aproveitamento de águas residuárias também atua no aumento da segurança hídrica, pois diminui a dependência dos recursos hídricos naturais. Estudos de Manisha *et al.* (2024) incluíram a avaliação de custo-benefício de um projeto de reaproveitamento de águas residuárias na Índia, que mirou a sustentabilidade no fortalecimento da resiliência de reservas

hídricas subterrâneas através de projetos de reciclagem de água. Identificando as parcerias público-privadas (PPPs) como catalisadoras para a viabilidade econômica dos projetos, concluiu-se que o reúso de efluentes tratados para recarga indireta de aquíferos subterrâneos tem o potencial de atender à crescente demanda por água e gerar benefícios econômicos por meio do aumento da produção agrícola e da receita, favorecendo a circularidade na gestão de recursos hídricos em áreas rurais e a escalabilidade da prática (Manisha *et al.*, 2024).

Os esforços para promover a circularidade dos fluxos de biomassa nos setores agrícolas são numerosos e estão apoiados no pilar da EC que preconiza o fechamento de ciclos para promover a sustentabilidade. A utilização de insumos gerados localmente, o uso de culturas secundárias e o uso racional de fertilizantes são práticas que promovem a EC; para ampliar essa abordagem, a coordenação coletiva entre agricultores, apoiada por tecnologias digitais que conectem propriedades, identifiquem necessidades materiais e facilitem trocas é essencial para construir uma rede colaborativa que viabilize a redução de desperdícios e o reaproveitamento de recursos. Fernandez-Mena *et al.* (2020) apontaram que iniciativas de código aberto que mapeiem fazendas geograficamente e promovam a comunicação entre produtores são fundamentais para escalar essas práticas. A popularização de práticas de EC depende, portanto, de suporte institucional, transformação estrutural nas fazendas orientada para princípios da EC (eliminação de resíduos/poluição, regeneração da natureza e circulação de materiais/produtos) e da articulação entre inovação tecnológica e engajamento coletivo.

As iniciativas de valorização de resíduos sólidos gerados nas atividades rurais são alvo de atenção de empresas de capital de risco, investidores de capital privado e outras entidades corporativas que almejam a capitalização de soluções de EC, o que contribui de forma cíclica para o desenvolvimento de iniciativas mais consistentes e robustas. Reconhecendo a necessidade de investimentos na evolução de inovações tecnológicas que promovam os princípios da EC, atrair o capital privado através de modelos de negócio circulares transparentes e exposição de casos de sucesso torna-se fundamental (Shawky; Gibbons; Selim, 2025). A necessidade de mapear investimentos em esforços de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e casos bem-sucedidos de soluções circulares na prática melhora a percepção de compradores e de outros investidores frente a essas iniciativas ao mesmo tempo que fortalece os agentes de mudança, fomentando seu desenvolvimento e a escalabilidade das práticas, como apontado em estudos de Chausson *et al.* (2024) sobre o impacto econômico de soluções baseadas na natureza (SBN). Junto ao empenho de fortalecer as práticas circulares e seu desenvolvimento tecnológico orientado à obtenção de resultados mais eficientes e sustentáveis, esse caminho de

popularização de práticas de EC através de SBN facilita o mapeamento de impactos gerados, direta e indiretamente, na promoção da sustentabilidade em múltiplos setores.

De modo análogo, a participação do poder público em planos de financiamento para P&D de soluções circulares, bem como na estruturação de um arcabouço legal e regulatório para a transição para a EC, estimula o mercado de valorização de resíduos e auxilia no combate aos desperdícios agroalimentares, apoiando soluções que fecham o ciclo biológico, além de atuar no auxílio à adoção sistêmica dessas práticas para ampliar a escala das iniciativas circulares (Shawky; Gibbons; Selim, 2025; Gava *et al.*, 2020). Nesse sentido, a priorização da colaboração intersetorial, que pode ser viabilizada através de movimentos governamentais de incentivo, é vital para acelerar a atuação da EC. Plataformas que unem múltiplos *stakeholders* facilitam a troca de informações e a resolução conjunta de desafios multifacetados, que podem ser superados através da ação conjunta de pesquisadores, indústrias e formuladores de políticas relacionadas à sustentabilidade e à agricultura (Kusumowardani *et al.*, 2022). Estudos de Filho *et al.* (2025) sobre a simbiose rural-industrial no gerenciamento de resíduos sólidos em Portugal indicaram que modelos de governança orientados pela tecnologia e pela gestão integrada de cadeias agroindustriais podem promover ecossistemas de inovação e desenvolvimento de negócios favoráveis à escalabilidade de práticas de EC. Analogamente, Gava *et al.* (2020) reforçaram a importância da atuação governamental para o apoio no desenvolvimento dessas iniciativas. Para tal, devem ser incluídas na transição para a circularidade ações governamentais para a adaptação legislativa voltada ao fornecimento de incentivos regulatórios e fiscais, e possível espaço para PPPs, para essa incubação de negócios. Para Taron *et al.* (2023), as PPPs são um instrumento eficiente para melhorar a escalabilidade de projetos de reaproveitamento de resíduos agrícolas, águas residuárias e biomassa. Os principais fatores fortificados pela atuação das PPPs que contribuem para o desenvolvimento de iniciativas de EC incluem o estabelecimento de uma adequada cadeia municipal de suprimentos a partir de resíduos, políticas e regulamentação governamental rigorosas (unidas a adequados mecanismos de fiscalização), acesso a vias de financiamento e subsídio governamental, o acesso a engenharia avançada, operação e manutenção eficientes por parte do setor privado e conformidades ambiental e social da transição.

Outras iniciativas mercadológicas eficazes são as certificações ambientais e de qualidade, que cooperam para aumentar a confiança e a aceitação por parte dos consumidores dos materiais provenientes de resíduos. Gava *et al.* (2020) também mostraram que os incentivos mercadológicos estão fortemente associados à adoção de certificações e rotulagens ambientais, o que, atribuindo vantagem estratégica e podendo associar preços de venda mais altos, pode

atribuir ganhos por parte da oferta e da demanda, uma vez que conecta consumidores interessados em produtos mais sustentáveis e produtores interessados em atribuir competitividade e retorno financeiro ao portfólio de itens provenientes do modo circular de produção.

As biorrefinarias atuam como um espaço de múltiplos aproveitamentos de resíduos agrícolas e contribuem imensamente com os esforços de fechamento de ciclos biológicos. Quando concebidas a partir de análises técnico-econômicas e com a ciência do ciclo de vida dos materiais que terá como insumos, há ganhos ambientais e financeiros que viabilizam a EC em futuro próximo, constituindo uma estratégia promissora para alavancar o desenvolvimento sustentável e o alcance de objetivos da EC através da produção de bens com valor agregado. Estratégias como a geração de uma diferente gama de produtos, como energia, etanol, biogás e produtos químicos diversos, promovem a sustentabilidade econômica das unidades, satisfazendo múltiplos setores e consumidores a partir do processamento de resíduos agrícolas; quando combinados, formam um mix comercial de interesse e resiliente frente a flutuações de mercado, contribuindo para a sustentabilidade e o potencial de ganho de escala dessas unidades (Awasthi *et al.*, 2022; Fit *et al.*, 2025). Meena *et al.* (2020) também argumentam que processos de engenharia que incluem sistemas de recuperação de calor, reatores de design avançado e tecnologias de fluxo contínuo podem diminuir as perdas em operações de grande escala, o que ressalta a importância da colaboração entre atores da cadeia de suprimentos e instituições com forte pilar P&D no desenvolvimento de soluções circulares e escaláveis.

O mesmo ponto de vista que valoriza o P&D, já citado, é observado no estudo de caso de Bjornlund *et al.* (2023) sobre o gerenciamento de água na agricultura, o qual reforça a importância das iniciativas de pesquisa sobre design, apoio e implementação de iniciativas de circularidade para o desenvolvimento econômico na agricultura sustentável. Ele aponta que esses sistemas devem atuar explorando todos os aspectos da lavoura e da criação de animais, direcionando seus resíduos e subprodutos de volta à produção, através de sistemas de produção integrada e que agreguem valor a fim de promover a EC e o fortalecimento de economias locais.

O fornecimento energético aos sistemas agroindustriais pode ser um pilar de amplo potencial de implantação de iniciativas de circularidade, com perspectivas de expansão para outros setores econômicos altamente consumidores de energia. Estudos de Steed, Mercuur e Mangaroo-Pillay (2025) propuseram um *roadmap* de descarbonização das atividades agroindustriais, que elencou frentes de mudança sequenciais e estratégicas para promover mudanças sustentáveis e circulares na matriz energética da agricultura sul-africana. Os resultados mostraram que a circularidade local de insumos e resíduos agrícolas tem alto impacto

positivo na redução de desperdícios, na minimização de emissões logísticas de GEE e na promoção de fontes alternativas de renda para comunidades rurais. Além disso, a estratégia de mudança proposta partiu de iniciativas que oferecem retornos imediatos – como a busca pela eficiência energética – e progrediu buscando a renovabilidade da matriz de energia e chegando à eletrificação industrial do setor, tendo como ponto de partida a distribuição de investimentos e níveis de mudança absorvíveis pelos agentes de transição a curto, médio e longo prazos, o que apoia a escalabilidade do modelo proposto. Com o intuito de aumentar a escala de adoção de fontes renováveis de energia, a promoção de padrões de portfólio a nível mundial colabora com a difusão de modelos distribuídos e biológicos em áreas rurais, o que oferece uma forma viável de aumentar a escala da participação de fontes circulares (como a biomassa) no mix dessas regiões (Gava *et al.*, 2020).

Outra estratégia identificada para alavancar modelos sustentáveis e circulares é a diminuição das cadeias de suprimentos, que promove economias com logística e armazenamento e, por consequência, tende a amortizar investimentos de soluções compartilhadas, diminuir a emissão de GEE e fomentar a geração de empregos, conforme estudos de De Pilla Jr., Pimenta e De Oliveira (2024) sobre a reciclagem de embalagens plásticas de pesticidas em Minas Gerais. O objetivo geral de encurtar essas cadeias é desenvolver uma rede responsável por reciclar materiais de uma localidade específica desenvolvendo e comercializando produtos derivados desse resíduo na mesma região de descarte; como resultado, são mobilizados agentes locais, o que fortalece o pilar socioeconômico da sustentabilidade e promove a aceitação de iniciativas circulares.

Bjornlund *et al.* (2023) argumentam que, em muitos casos, há soluções técnicas disponíveis para implementar a circularidade econômica, mas falta ambiente adequado para implementá-las, pois a transição não depende somente de aspectos técnicos: o ambiente não-técnico (composto por aspectos sociais e institucionais) também deve ser considerado. Estudos de Quirk, Gibson e Cook (2024) também mostram que o pilar social da sustentabilidade atua fortemente na consolidação de soluções técnicas para a implementação de medidas circulares para as cadeias agrícolas, uma vez que iniciativas vernaculares de circularidade promovem o enraizamento de valores comunitários e sustentáveis e representam oportunidades integrativas de transição. Com a abordagem de desenvolvimento da EC “de baixo para cima” (ou “mais-que-transacionais”), são elucidados diferentes tipos de negócios que aplicam práticas circulares, como a regionalidade de fornecedores e iniciativas de reaproveitamento de resíduos, e, ao mesmo tempo, fortalecem localmente valores de sustentabilidade que nutrem pilares da EC,

participando de uma transição sistêmica em direção ao modelo circular da agricultura (Quirk; Gibson; Cook, 2024).

Os sistemas alimentares locais podem ser descritos por valorizar a produção regional, fomentar oportunidades para negócios de pequeno e médio porte e viabilizar canais alternativos de comercialização e distribuição, o que apresenta maior potencial para estimular a sustentabilidade e a EC através do incentivo à interação e à inserção econômica de atores diversos, contrariamente à dominância de poucos produtores (Rastoin, 2014). Esse modelo se desenvolve em cadeias de suprimentos mais curtas, afastando a estrutura econômica linear e promovendo a integração de atores locais para fortalecer a sustentabilidade do setor (De Pilla Jr.; Pimenta; De Oliveira, 2024; Elton; Dipieri; Cole, 2025).

A atribuição do importante potencial de atuação na implementação da EC a pequenos negócios é igualmente defendida por Siegel e van Leeuwen (2025). Foi observado que conectar pequenos empreendedores a parceiros de maior porte que disponham de recursos e expertise permitiria que esses negócios escalassem de forma mais eficiente e eficaz, ampliando a atuação da EC. Empresas de maior porte ou instituições de pesquisa, com capacidade técnica e recursos disponíveis, podem suprir essa lacuna e absorver os custos em seus orçamentos, obtendo, como retorno, maior competitividade socioambiental. No estudo de caso em Toronto, no Canadá, empresas já demonstram interesse em investir e incorporar soluções circulares, e essas parcerias vêm sendo viabilizadas por iniciativas de empoderamento voltadas a nichos específicos da cadeia agroalimentar. Nesse sentido, entende-se que a escalabilidade das soluções de EC depende fortemente do investimento direto de empresas em sua preparação técnica e social para a inovação, uma vez que o apoio governamental, embora relevante, frequentemente se mostra pouco eficiente ou mesmo ausente (Siegel; van Leeuwen, 2025).

Ahenkan *et al.* (2025) conduziram um estudo de caso em Gana para mapear fatores que acelerassem a transição para a EC no país, de forma similar ao que se propõe identificar nessa pesquisa sobre escalabilidade. As lacunas observadas pelos autores demonstraram a importância de medidas de fortalecimento de empreendedores locais, muitas vezes de menor porte e em situação de informalidade. A inclusão desses agentes no arcabouço circular da transição para o modelo de EC reduz a desigualdade socioeconômica e promove meios de subsistência sustentáveis, o que atua na solidez da mudança. Härri, Levänen e Koistinen (2020) ainda apontam a necessidade de considerar, de modo especial, os atores marginalizados e os desafios relacionados à justiça da transição para o modelo circular, em vistas de garantir a efetiva equidade social e a sustentabilidade futura do processo e do modelo econômico. A participação dos poderes públicos pode surgir com a estruturação administrativa do incentivo à

transformação do setor agrícola, através de instrumentos como políticas regulatórias, estratégias nacionais de mobilização, metas e indicadores de desempenho. O incentivo à colaboração internacional pode apoiar trocas de conhecimento e de boas práticas, fornecendo redes de assistência técnica e financiamento de iniciativas de EC na agricultura.

Sob o ponto de vista da gestão de intersetorial (governos, iniciativa privada e consumidores), fatores legais e regulatórios escassos ainda representam uma barreira à implementação de práticas circulares, conforme apontado por Garrett *et al.* (2020) em estudos sobre os sistemas integrados de agricultura e pecuária. Um viés que impacta diretamente esses sistemas e contribui com a interpretação popular equivocada sobre a seguranças de algumas práticas é a proibição por algumas normas sanitárias de complementar a alimentação animal com restos de colheita rural, mesmo quando há evidências científicas que apontam para a segurança dessas práticas quando corretamente manejadas. Além das restrições legais, a exemplo do vigente nos Estados Unidos para a utilização de esterco como fertilizante e na União Europeia com a limitação de uso de resíduos alimentares para nutrição animal, o receio de implicações jurídicas também desestimula a experimentação com modelos produtivos mais circulares amparados na reutilização de sobras ou resíduos orgânicos em ambientes agropecuários integrados. Apesar da motivação sanitária desses instrumentos legais, são muitos os exemplos que não diferenciam os riscos envolvidos com essas práticas e, assim, acabam barrando o aproveitamento de recursos agropecuários de forma ampla. Nesse contexto, a demonstração de casos bem-sucedidos, unida à capacitação de trabalhadores rurais sobre oportunidades e cuidados em boas práticas de agricultura circular através de treinamentos e trocas de experiências, se torna imprescindível para disseminar e escalar as atividades de reaproveitamento às lentes da EC (Garrett *et al.*, 2020; Shawky; Gibbons; Selim, 2025).

A gestão da mudança voltada à transição para práticas de EC é um fator sensível para a ampliação de sua escala de adoção. Embora os esforços para identificar e promover inovações sustentáveis entre produtores rurais sejam numerosos, a incorporação dessas práticas ainda é limitada, com resultados pouco estimulantes em termos de impacto e adesão (Ntawuhiganayo *et al.*, 2023). Para fomentar a aceitação de práticas sustentáveis associadas à agricultura regenerativa, um dos fundamentos da EC, estudos de Ntawuhiganayo *et al.* (2023) indicam que agricultores que participaram de programas de capacitação apresentaram uma propensão até cinco vezes maior à adoção de práticas como rotação de culturas, cultivo alternado, manejo integrado de pragas, sistemas agroflorestais e compostagem. De forma complementar, Murindangabo *et al.* (2021) salientam que a efetividade na assimilação e aplicação de metodologias regenerativas está associada ao aprendizado prático, proporcionado através de

atividades de campo e oficinas manuais, e não somente com abordagens de ensino baseadas em leitura e instruções teóricas (Ellen MacArthur Foundation, 2022b).

Dobermann *et al.* (2022) também mostraram que, além das soluções de alta tecnologia voltadas à agricultura comercial, as abordagens de manejo local de nutrientes de baixa complexidade tecnológica têm demonstrado ganhos consistentes e expressivos em produtividade, rentabilidade e eficiência no uso de nitrogênio em diversas culturas cultivadas por pequenos produtores na Ásia e na África, mas afirmaram que a escalabilidade dessas práticas depende de assessoria técnica. Para aliviar essa lacuna, a ampliação de análises de ciclo de vida de produtos e a produção de informações e dados acessíveis sobre economia financeira e impacto ambiental são fundamentais para viabilizar a adoção dessas práticas pelos pequenos negócios, acelerando sua difusão em larga escala (Siegel; van Leeuwen; 2025).

A desigualdade no acesso à conectividade digital entre propriedades agrícolas de diferentes portes representa um obstáculo considerável para a disseminação de soluções baseadas em informação digital, assessoria técnica e integração com mercados no ecossistema agrário. Áreas agrícolas que enfrentam obstáculos com produtividade, estresse climático e populações vulneráveis à insegurança alimentar frequentemente apresentam cobertura digital precária, o que deve ser combatido para ampliar o impacto das inovações circulares em larga escala. Nesse cenário, a pesquisa no ramo deve priorizar o compartilhamento de informações, acelerando o desenvolvimento e a aplicação de novas tecnologias e práticas aprimoradas. Existem lacunas críticas de conhecimento que necessitam de reorientação dos investimentos em pesquisa, e tal desenvolvimento unido à definição de referências de sistemas circulares em escala ampla constitui uma área estratégica de inovação, que permite identificar zonas prioritárias e soluções apropriadas para o aumento da produtividade e da eficiência no uso de nutrientes no campo (Dobermann *et al.*, 2022).

Um estudo de caso em fazendas cacaueiras na Colômbia conduzido por Hoof *et al.* (2024) explorou os mecanismos de tomada de decisão orientada à EC por parte dos agricultores. Cenários simulados com o apoio dos trabalhadores demonstraram que a escala de produção exerce um papel básico na eficácia das alternativas de circularidade implementadas no setor. Nesse contexto, entende-se como alternativa mais viável para propiciar a adoção dessas práticas que agricultores de menor porte e aqueles que atuam de forma reativa, como na agricultura artesanal, invistam no fortalecimento de infraestruturas coletivas voltadas à valorização de resíduos (como as de compostagem), priorizando a valorização desses insumos frente aos melhoradores sintéticos, como forma de aumentar a escalabilidade de práticas circulares. Além disso, o uso de simulações baseadas e orientadas por dados permite aos produtores tomar

decisões mais assertivas e que contribuem para o aumento da rentabilidade de suas atividades, o que viabiliza o planejamento progressivo de recursos financeiros de forma direcionada à transição para modos de produção circulares.

Em termos tecnológicos, empresas se voltam para mudanças rápidas em direção a cadeias de suprimentos que sejam flexíveis, responsivas e eficientes, a fim de enfrentar os desafios de resiliência e sustentabilidade tão emergentes no cenário atual. Tecnologias da indústria 4.0, como o *blockchain*, são apontadas como artifícios indeclináveis para alcançar objetivos de EC e promover soluções para os desafios ambientais do setor agroalimentar. Atualmente, a adoção do *blockchain* em escala ampla permanece limitada, uma vez que a EC baseada nessa tecnologia ainda se encontra em fase de testes. Seu potencial consiste principalmente em promover a rastreabilidade e o monitoramento seguro nas cadeias de suprimentos, aprimorando a qualidade e o poder de gerenciamento de informações sobre cultivos, qualidade, distribuição alimentar e geração de resíduos agrícolas. Apesar disso, espera-se que sua adoção em massa ocorra de forma natural e progressiva à medida que projetos de grande porte demonstrarem seu valor prático (Panghal *et al.*, 2022).

Matarazzo *et al.* (2024) relacionou a metodologia de nível de maturidade tecnológica (TRL, do inglês *Technology Readiness Level*) com boas práticas de EC no setor agroalimentar italiano e constatou que a abordagem de mensurar a maturidade de iniciativas circulares auxilia no entendimento do progresso e da potencial escalabilidade para essas práticas, constituindo uma importante frente na gestão da transição para o modelo. A estrutura do TRL favorece a identificação de gargalos e oportunidades específicas para cada subsistema do setor agroalimentar, o que contribui para alinhar nível de prontidão de soluções circulares e estratégias de implementação ao passo que promove eficiência na integração dessas práticas ao mercado, atuando na escalabilidade do modelo de EC na cadeia agroalimentar.

Diante do cenário atual, entende-se que é preciso identificar e mobilizar diferentes atores das cadeias agrícolas produtiva e consuntiva, além de agentes técnicos e econômicos, para viabilizar a implementação em ampla escala de práticas de EC. A estruturação de uma rede colaborativa que priorize os princípios da EC permitirá, além do desenvolvimento de soluções aplicadas a desafios ainda existentes na gestão de transição, o enraizamento e a permanência de práticas já existentes, a fim de permitir o ganho de escala desse modelo econômico.

Ainda que haja produções na literatura científica que tratem de fatores de sucesso para a escalabilidade de modelos econômicos circulares, a exemplo das contribuições de Siegel e van Leeuwen (2025) no setor alimentício, não foi identificado nenhum trabalho que considere o aumento de escala para todas as faces da agricultura, incluindo a produção de alimentos, o

potencial de geração de energia renovável, o processamento de matéria-prima, dentre outros. Essa lacuna justifica a condução de um estudo que mapeie os fatores que propulsionem a circularização do setor em sua forma integral, bem como a avaliação das agendas de pesquisa que se desenham para a consolidação e a sistematização desse conhecimento, reunindo os fatores de sucesso identificados até então e explorando as possibilidades de conexão de subsetores e da ação conjunta de múltiplas partes interessadas, a fim de estruturar uma rede colaborativa e eficiente para a promoção da EC.

## 4 METODOLOGIA

A pesquisa se caracteriza como mista, abrangendo pilares quantitativos e qualitativos da literatura sobre o tema, e inclui a RSL, o método bibliométrico e análises de conteúdo, o que permitiu ilustrar um amplo panorama científico e salientar a relevância do estudo no tema de interesse. A RSL auxiliou na contextualização geral sobre as publicações científicas avaliadas, dando suporte à análise de conteúdo conduzida posteriormente e atuando de forma paralela ao método bibliométrico, que fornece informações a respeito da produção técnico-literária sobre o tema de interesse. Dessa forma, obtém-se um conjunto de informações que permitem avaliar tanto as métricas científicas quanto o conteúdo produzido sobre a escalabilidade do modelo circular na agricultura.

Para o mapeamento da literatura, foi realizada a análise bibliométrica da amostra representativa pelo uso do Biblioshiny, interface do Bibliometrix, que é uma ferramenta de código aberto amplamente empregada em pesquisas quantitativas em cienciometria e bibliometria. O Biblioshiny recolhe os metadados da literatura, extraídos das bases de dados que alimentam a pesquisa, e compila informações bibliométricas importantes através de um código de programação em linguagem R (Aria; Cuccurullo, 2017). Alguns dos resultados dessas análises são a distribuição temporal da produção científica, os autores de maior relevância no tema e as palavras-chave mais empregadas na amostra de estudos, dentre outras informações importantes para o mapeamento da literatura acerca de um tema de interesse.

Para a obtenção de informações literárias, foi definida a busca a ser feita nas bases de dados *Web of Science* (WoS) e *Scopus*, as quais são amplamente empregadas em análises bibliométricas e em revisões sistemáticas, além de compatíveis com a maioria das ferramentas disponíveis para tais (Moral-Muñoz et al., 2020). As *strings* combinadas para a pesquisa foram: (agri\* OR agro\*), (“circular economy”) e (“scaling” OR “scalable” OR “scalability”), por meio do conectivo “AND”. Os prefixos “agri” e “agro” contemplam os termos relacionados à agricultura, como *agribusiness*, *agritech*, *agriculture*, *agroindustry*, *agroprocessing* ou *agro-food systems*, e que seriam interessantes de se englobar na pesquisa por tratarem de conceitos frequentemente abordados em pesquisas sobre EC. A segunda *string*, “circular economy”, é incluída e relacionada pelo conectivo “AND” para que a pesquisa resulte apenas em trabalhos que apresentam concomitantemente o conceito de EC e a ocorrência de *agri* ou *agro* como prefixos. A inclusão da *string* (“scaling” OR “scalable” OR “scalability”) traz o fator de escalabilidade na busca por trabalhos que abordam discussões sobre como escalar a EC no setor

agrícola, seja por meios de abordagens transversais de gestão, operação centrada em sustentabilidade ou interligação entre subsetores complementares.

A escolha das *strings* de pesquisa foi feita com base em tentativas de coleta de trabalhos nas bases científicas e apoiada por estudos similares sobre agricultura e EC. A pesquisa exploratória conduzida previamente à coleta de informações e durante a RSL indicou quais termos incluiriam os trabalhos de interesse, especialmente pela leitura daqueles que tratavam da escalabilidade da EC.

A pesquisa foi feita considerando a busca no campo “Article title, Abstract, Keywords” do *Scopus*, e “Topic” (que inclui, igualmente, título, resumo e palavras-chave) no WoS. Além disso, foram aplicados filtros em relação ao montante total de trabalhos obtidos nas buscas das duas bases de dados, a saber, artigos escritos em inglês. Assim, filtrando por “Articles” na seção sobre o tipo de documento e “English” na seção de idioma que as plataformas on-line apresentam, a amostra foi reduzida aos artigos escritos em inglês. Esse critério foi estabelecido para garantir maior rigor científico aos resultados pela fiabilidade acadêmica dos artigos, além de permitir a homogeneidade linguística necessária para a adequada análise pelo Biblioshiny.

As pesquisas foram feitas em 28 de julho de 2025. Ou seja, todos os artigos apresentados nas bases de dados até o fim do referido dia e cujos metadados estavam disponíveis para análise foram considerados, de modo que o montante total da amostra após a aplicação dos filtros foi de 651 trabalhos. Também é importante ressaltar que alguns trabalhos são encontrados em ambas as bases de dados; portanto, foram subtraídas as duplicações de artigos da contabilização total, totalizando 571 documentos elegíveis.

A amostra dos trabalhos passou, então, por uma triagem pormenorizada, artigo a artigo, com o auxílio da ferramenta NVivo. O NVivo é um software de análise qualitativa que permite identificar temas e executar consultas com o objetivo de identificar, categorizar, sintetizar e sumarizar documentos textuais de interesse através de funcionalidades como o processo de codificação (Lumivero, 2025; Nyree, 20--). Assim, os 571 artigos foram avaliados com o auxílio do NVivo buscando retirar da amostra aqueles que não colaborassem com a resposta às perguntas de pesquisa (PP1, PP e PP3). Foram lidos os títulos e resumos dos trabalhos, eliminando aqueles que 1. não se referiam a agricultura ou práticas agrícolas, 2. não traziam discussões sobre a EC (nesse critério, foram eliminados os artigos que somente citavam) ou 3. não traziam resultados ou conclusões sobre aspectos relevantes na escalabilidade da EC, o que reduziu a amostra a 49 artigos. A etapa de avaliação detalhada das principais informações temáticas foi importante para eliminar da amostra artigos que apenas citavam os eixos de interesse (agricultura, EC e escalabilidade) e manter somente trabalhos que traziam discussões

pertinentes ao tema e aos objetivos da pesquisa. Para remover da amostra os numerosos trabalhos que citavam um tema de interesse, mas não aprofundavam a discussão almejada, foram considerados relevantes e mantidos os artigos que, para além de abordarem técnicas e iniciativas de EC aplicada à agricultura, pontuavam e esclareciam aspectos (institucionais, técnicos, políticos, sociais ou de gestão) que favorecem o aumento de escala da EC.

Por fim, após a aplicação dos filtros de coleta e pré-análise de título e resumo, os 49 artigos triados passaram por uma última avaliação, atenta e pormenorizada, a fim de validar sua relevância para o tema de pesquisa, com a leitura dos textos completos. Na última etapa, foram eliminados 23 trabalhos da amostra e obteve-se uma amostra consistente e relevante para o tema e as perguntas de pesquisa, composta por 26 artigos.

Os critérios para inclusão e exclusão de trabalhos da amostra são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Critérios de inclusão e exclusão da coleta de trabalhos nas bases de dados

Documentos do tipo artigo científico	Inclusão
Documentos escritos em inglês	Inclusão
Disponível nas bases de dados até 28/07/2025	Inclusão
Estar duplicado nas bases de dados	Exclusão
Ter sido retratado	Exclusão
Texto completo disponível para download	Inclusão
Não tratar especificamente sobre EC	Exclusão
Não tratar especificamente sobre agricultura	Exclusão
Não apresentar meios de escalar o modelo da EC na agricultura	Exclusão

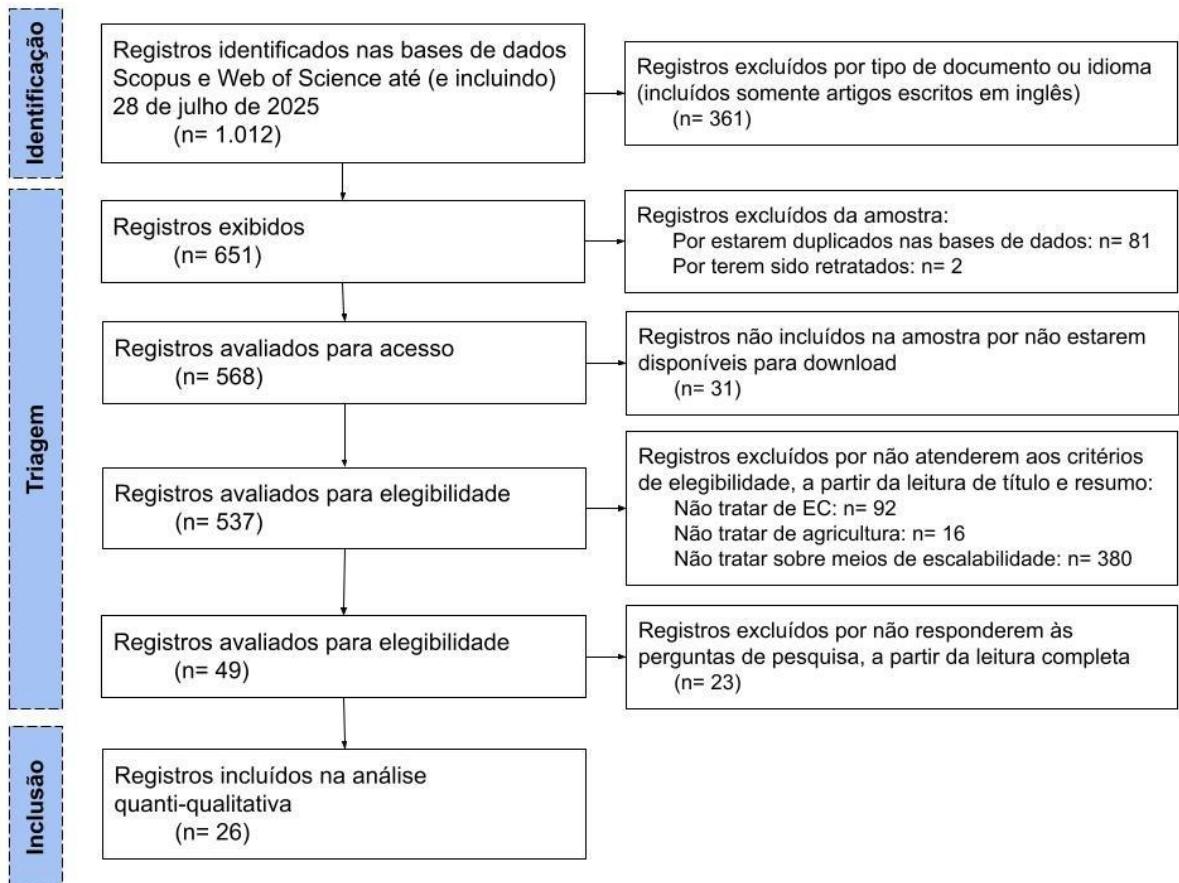
Fonte: Autoria própria (2025)

O Protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020 foi empregado de modo adaptado no presente estudo a fim de estruturar a coleta de artigos para as análises. O PRISMA 2020 traz um fluxograma de coleta de trabalhos que consiste nas etapas de identificação, triagem e inclusão, elaborado para promover transparência e precisão nas revisões sistemáticas (Moher *et al.*, 2010). Esse método é amplamente utilizado para identificar, selecionar e avaliar criticamente pesquisas relevantes,

além de coletar e analisar dados dos estudos incluídos em uma RSL (Cavalieri; Reis; Amorim, 2021).

Sumarizando a contabilização da amostra e ilustrando os resultados da aplicação dos filtros nas buscas e da triagem, o fluxograma do Protocolo PRISMA é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma PRISMA para a coleta de trabalhos



Fonte: Autoria própria

Foi conduzida uma RSL com os trabalhos coletados conforme o protocolo PRISMA da Figura 3, o que garante organização e transparência na coleta de informações, replicabilidade da pesquisa e robustez das análises subsequentes. A RSL foi executada de modo a auxiliar na elaboração de respostas para as PPs.

A bibliometria foi conduzida pela ferramenta Biblioshiny, com os metadados extraídos da busca nas bases de dados e filtrados pelos critérios de busca, triagem e elegibilidade de trabalhos conforme protocolo PRISMA. Foram discutidos os resultados mais importantes, interessantes e consistentes para a percepção e a caracterização geral da bibliografia incluída na pesquisa.

A análise de conteúdo foi conduzida conforme orientações de Bardin (2006), estruturando-se em três fases interdependentes, que incluem pré-análise (organização do material, leitura exploratória e formulação de hipóteses e unidades de registro), exploração do material (codificação sistemática e categorização) e tratamento dos resultados (interpretação e inferência de significados). Para tal, foi elaborado um registro padronizado dos trabalhos incluídos na análise em ambiente planilha eletrônica, e as decisões de agrupamento e codificação foram documentadas em memoriais metodológicos para garantir rastreabilidade e possibilitar a replicação das interpretações feitas (Bardin, 2006). A partir da pré-análise do material e com suporte na literatura avaliada na etapa de revisão, foram estabelecidos cinco eixos temáticos centrais para guiar a análise de conteúdo, sendo eles: Institucional, Político, Técnico, Social e Gestão. O eixo Institucional inclui as observações sob a perspectiva das organizações, em especial as de iniciativa privada, elucidando fatores que favorecem a escalabilidade da EC advindos do ambiente corporativo. O eixo Político, similarmente, inclui atividades que estão na alçada de órgãos governamentais e que dependem da atuação pública para se concretizarem. O Técnico se refere às necessidades do campo prático das atividades rurais, apresentando oportunidades relacionadas a operações, experiência ou habilidades no setor para escalar o modelo circular a níveis mais amplos, ao passo que o eixo Social salienta a participação civil e particular de pessoas envolvidas na cadeia agrícola de suprimentos e distribuição. O eixo de Gestão, por fim, passa pela avaliação estratégica das múltiplas partes interessadas e participantes na cadeia, buscando a conexão e o alinhamento de esforços e demandas para fomentar a circularidade.

Um mapa temático foi desenvolvido após a condução da RSL, da bibliometria e da análise de conteúdo, ilustrando as principais descobertas dessa pesquisa, buscando salientar eixos de atuação para a gestão de mudança para o modelo econômico circular na agricultura.

Os resultados da RSL foram discutidos no item 3.3 e os das etapas bibliométrica e de análise de conteúdo foram abordados no Capítulo 5 (subitens 5.1 e 5.2, respectivamente). O item 5.3 sumariza os principais achados, buscando responder às perguntas de pesquisa (PP1, PP2 e PP3), e apresenta o mapa temático desenvolvido nesse trabalho.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme ilustrado no fluxograma PRISMA da Figura 3, os 26 trabalhos científicos incluídos nas análises bibliométricas e de conteúdo são indicados na Tabela 2, juntamente com sua caracterização (tipo de estudo), seu enfoque temático e o detalhamento sobre o assunto. As colunas de detalhamento (as duas à direita) trazem aspectos relacionados à escalabilidade de práticas de EC na agricultura, salientando ou o desafio que se pretende superar ou a estratégia adotada para a escalar os modelos circulares no setor.

Tabela 2 – Trabalhos incluídos na pesquisa e seus respectivos detalhamentos

Trabalho	Tipo de estudo	Foco	Desafio a ser superado	Estratégia a implementar (continua)
<b>Ahenkan et al. (2025)</b>	Estudo de caso	Acelerar a transição para a EC em Gana	-	Compreensão do cenário político da EC, identificação de áreas potenciais para implementação e desenvolvimento de estratégias para acelerar a transição
<b>Awasthi et al. (2022)</b>	Revisão de literatura	Desenvolvimento de biorrefinarias	-	Proposição de espaços comuns para a geração de diferentes produtos com valor de mercado a partir de resíduos agrícolas
<b>Bjornlund et al. (2023)</b>	Estudo de caso	Gerenciamento da água na agricultura	Gerenciamento da água na agricultura de forma adequada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e a sistemas alimentares circularizados	-
<b>Chausson et al. (2024)</b>	Revisão de literatura	Impacto econômico de soluções baseadas na natureza (SBN)	-	Emprego de SBN para melhorias socioeconômicas e situações de recuperação econômica
<b>Chojnacka et al. (2020)</b>	Revisão de literatura	O uso de águas residuárias recuperadas como substituto a parte de fertilizantes sintéticos em países de clima moderado	Uso excessivo de fertilizantes sintéticos	-

Trabalho	Tipo de estudo	Foco	Desafio a ser superado	Estratégia a implementar
(continuação)				
<b>De Pilla Jr., Pimenta e De Oliveira (2024)</b>	Estudo de caso	Circularização da cadeia de embalagens de pesticida em Minas Gerais (Brasil)	Circularidade para os resíduos de embalagens de pesticida	-
<b>Demir e Alp (2025)</b>	Estudo de caso	Avaliar o potencial da EC através do nexo <i>Water-Food-Energy-Ecosystem</i> (WEFE) na Turquia	Fechamento de cadeias agroalimentares através da exploração do nexo WEFE	-
<b>Dobermann <i>et al.</i> (2022)</b>	Revisão de literatura	Nutrição vegetal sustentável	-	Melhoramento na produção agrícola associado a maior circularidade de nutrientes e sustentabilidade socioambiental
<b>Elton, Dipieri e Cole (2025)</b>	Estudo de caso	Mercados públicos de alimentos como espaços de inclusão e fortalecimento de cadeias de suprimento mais curtas e sustentáveis no Canadá	A prevalência de mercados de rede em oposição ao comércio de pequenos e médios produtores como obstáculo à sustentabilidade e à EC	-
<b>Fernandez-Mena <i>et al.</i> (2020)</b>	Aplicação de modelo	Design circular de sistemas agroalimentares em uma região da França	Fechamento dos ciclos agroalimentares localmente	-

Trabalho	Tipo de estudo	Foco	Desafio a ser superado	Estratégia a implementar
(continuação)				
<b>Filho et al. (2025)</b>	Estudo de caso	Simbiose rural-industrial e gerenciamento de resíduos sólidos em Portugal	-	Integração de tecnologias emergentes e desenvolvimento de modelos de governança em projetos de simbiose rural-industrial
<b>Fit et al. (2025)</b>	Aplicação de indicadores de desempenho econômico	Escalabilidade de biorrefinarias	-	Valorização da casca de arroz para gerar produtos de interesse econômico em biorrefinarias
<b>Garrett et al. (2020)</b>	Revisão de literatura	Sistemas integrados de lavoura e pecuária	-	O alavancamento da EC através da adoção de sistemas integrados de lavoura e pecuária (ICLS)
<b>Gava et al. (2020)</b>	Revisão de literatura	Elaboração de políticas públicas apoiada por análises de ciclo de vida (ACV)	-	Integração das dimensões ambiental, social e econômica na elaboração de políticas agrícolas e alimentares
<b>Härry, Levänen e Koistinen (2020)</b>	Revisão de literatura	Pequenos agricultores como atores de transição justa para a EC na Índia	A ofuscada potencialidade de pequenos produtores na promoção da EC devido a fatores institucionais	-
<b>Hoof et al. (2024)</b>	Estudo de caso	Tomada de decisão a micronível na Colômbia	-	Habilidades de tomada de decisão orientada à EC por parte dos agricultores

Trabalho	Tipo de estudo	Foco	Desafio a ser superado	Estratégia a implementar
(continuação)				
<b>Manisha et al. (2024)</b>	Estudo de viabilidade	Reaproveitamento de águas residuárias na Índia	-	Aumento na produção agrícola através da segurança hídrica promovida por recarga indireta de águas subterrâneas
<b>Matarazzo et al. (2024)</b>	Estudo de caso	Avaliação de boas práticas em EC no setor agroalimentar na Itália	Avaliar a prontidão e a maturidade de práticas de EC	-
<b>Ntawuhiganayo et al. (2023)</b>	Entrevistas	Práticas de agricultura regenerativa na África Oriental	-	Inovações no setor agrícola como motor para a promoção da agricultura regenerativa e da segurança alimentar em larga escala
<b>Panghal et al. (2022)</b>	Revisão de literatura	<i>Blockchain</i> para a circularização da cadeia de alimentos na Índia	-	Aplicação do <i>blockchain</i> para melhorar a rastreabilidade e a capacidade de resposta da cadeia de fornecimento na circularização
<b>Quirk, Gibson e Cook (2024)</b>	Estudo de caso	Cafeterias locais na promoção de práticas e fortalecimento de valores de EC relacionados ao gerenciamento de resíduos na Austrália	-	Compreensão da disseminação de práticas e valores de EC aplicados ao gerenciamento de resíduos de forma alternativa aos meios de grande escala

Trabalho	Tipo de estudo	Foco	Desafio a ser superado	Estratégia a implementar (conclusão)
<b>Shawky, Gibbons e Selim (2025)</b>	Revisão de literatura	Valorização de resíduos agroalimentares	Desperdícios agroalimentares	-
<b>Siegel e van Leeuwen (2025)</b>	Estudo de caso	Escalabilidade de negócios alimentícios urbanos com práticas circulares no Canadá	Viabilidade econômica de negócios alimentícios circulares	-
<b>Steed, Mercuur e Mangaroo-Pillay (2025)</b>	Estudo de caso	Descarbonização da agroindústria na África do Sul	A grande pegada de carbono e dependência de combustíveis fósseis na agroindústria africana	-
<b>Taron et al. (2023)</b>	Revisão e estudos de caso	PPP para promover práticas de recuperação e reuso de resíduos na bioeconomia circular do Sul Global	-	O emprego de PPP como propulsora de parcerias intersetoriais para alcançar a circularidade de resíduos
<b>Yakovleva et al. (2021)</b>	Revisão de literatura	Ciclo de vida do potássio	Escassez na oferta de potássio em países subdesenvolvidos e a circularização dessa cadeia econômica	-

Fonte: Autoria própria

Os trabalhos trouxeram perspectivas diversas sobre as oportunidades e desafios de escalabilidade de práticas de EC na agricultura, variando de estratégias para ampliação de escala que focam em ações locais e regionais até medidas em nível macro, envolvendo governos e cooperação internacional.

### **5.1 Bibliometria**

As análises bibliométricas conduzidas no Biblioshiny resultaram em métricas sobre a amostra de trabalhos que ajudam a caracterizar a bibliografia estudada, avaliar os temas que a compõem e oferecer perspectivas sobre autores, instituições e países relevantes para o assunto de interesse.

As informações bibliográficas principais da amostra de trabalhos científicos considerados são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 – Informações bibliográficas da amostra de trabalhos incluídos no estudo

Janela de tempo	2020:2025
Fontes	23
Quantidade de documentos	26
Taxa de crescimento anual	9,86%
Autores	134
Co-autores por documento	5,15
Coautoria internacional	42,31%
Referências	2272
Idade média dos documentos [anos]	1,92
Média de citações por documento	21,12

Fonte: Autoria própria

Os autores dos artigos são diversos, não havendo prevalência de nenhum em específico para a amostra. Em termos de países, entretanto, há proeminência de publicações por autores da Índia, que teve 12 contribuições, seguida de França e Estados Unidos, com 7 publicações cada um, e Austrália, Brasil e Reino Unido, com 6 trabalhos cada. Destaca-se o alto índice de

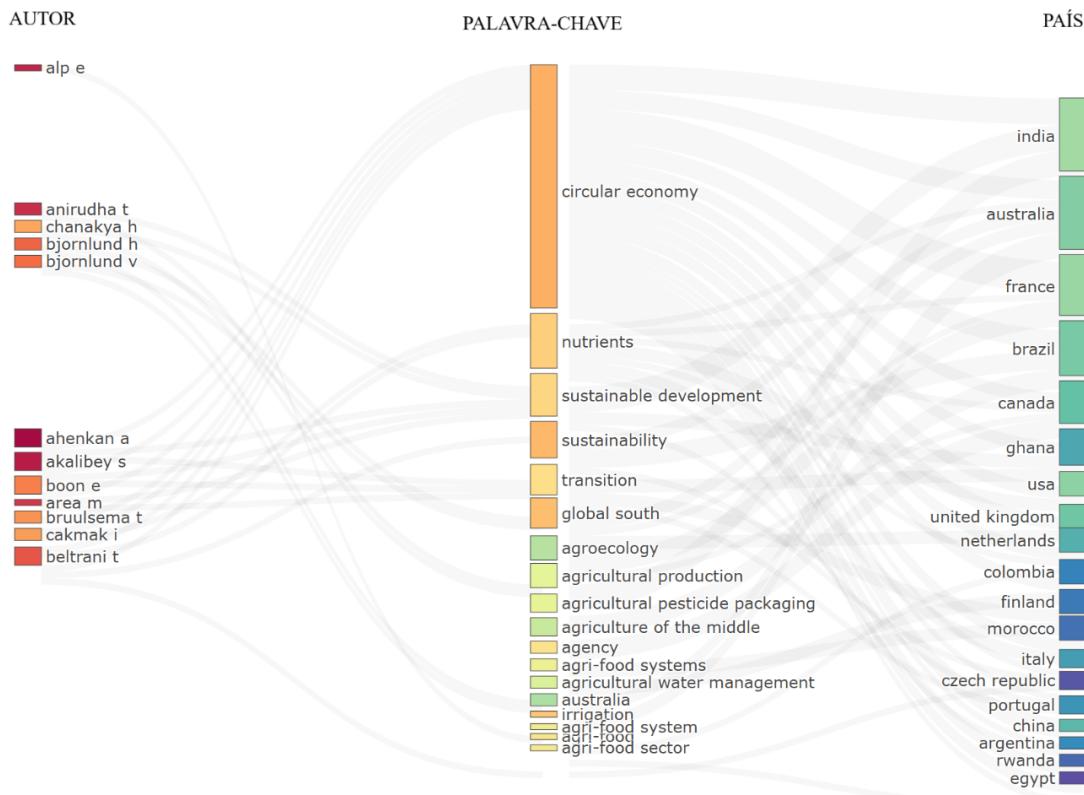
coautoria internacional, que mostra que há colaboração e intercâmbio de conhecimento para a produção científica.

As instituições que mais publicaram na amostra foram a University of Oxford, britânica, e a Wageningen University & Research, dos Países Baixos, cada uma com 4 publicações, seguidas por Council for Scientific and Industrial Research (Índia), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Brasil), Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (França) e University of Toronto (Canadá), cada um com 3 trabalhos publicados na amostra.

As fontes de publicação mais citadas localmente são o Journal of Cleaner Production (76), o Bioresource Technology (53), o Sustainability (50) e o Journal of Environmental Management (48), indicando que esses periódicos são as mais importantes bases literárias para os estudos sobre a escalabilidade de práticas de EC na agricultura. Outras fontes científicas importantes são o Renewable & Sustainable Energy Reviews, o Science of the Total Environment, o Global Food Security e o Resources, Conservation & Recycling.

A Figura 4 mostra o diagrama de três campos (ou *three-field plot*) importantes para a avaliação da bibliografia, sendo eles autor, palavra-chave e país de publicação, o que ilustra como as temáticas centrais se distribuem geograficamente e entre pesquisadores.

Figura 4 – *Three-field plot* para autores, palavras-chave e países na bibliografia



Fonte: Autoria própria

Vê-se que há predominância de termos ligados a EC, desenvolvimento sustentável e recuperação de nutrientes, que são pontos de articulação entre vários autores (por exemplo, Alp, Aniruddha e Chanakya) e um conjunto diversificado de países (Índia, Austrália, Brasil, EUA e Reino Unido). A largura dos fluxos acinzentados está relacionada às associações mais frequentes, indicando grupos de pesquisa com foco semelhante e redes de colaboração temática e permitindo inferências sobre a distribuição internacional dos interesses de pesquisa para priorizar autores e países-chave para revisão bibliográfica. Além disso, o diagrama permite identificar países e autores com mais fortes vínculos a temas específicos dentro do tema global da amostra, auxiliando a direcionar esforços na resolução de perguntas de pesquisa específicas. Identifica-se que o Brasil, por exemplo, está mais intimamente ligado à produção relacionada aos subtemas de transição e sustentabilidade, além do próprio conceito de EC.

A visualização temática em *treemap*, representada na Figura 5, oferece uma visão sintética dos termos mais abordados na amostra, apresentando a distribuição percentual de palavras-chave mais recorrentes.

Figura 5 – Treemap de palavras-chave na bibliografia

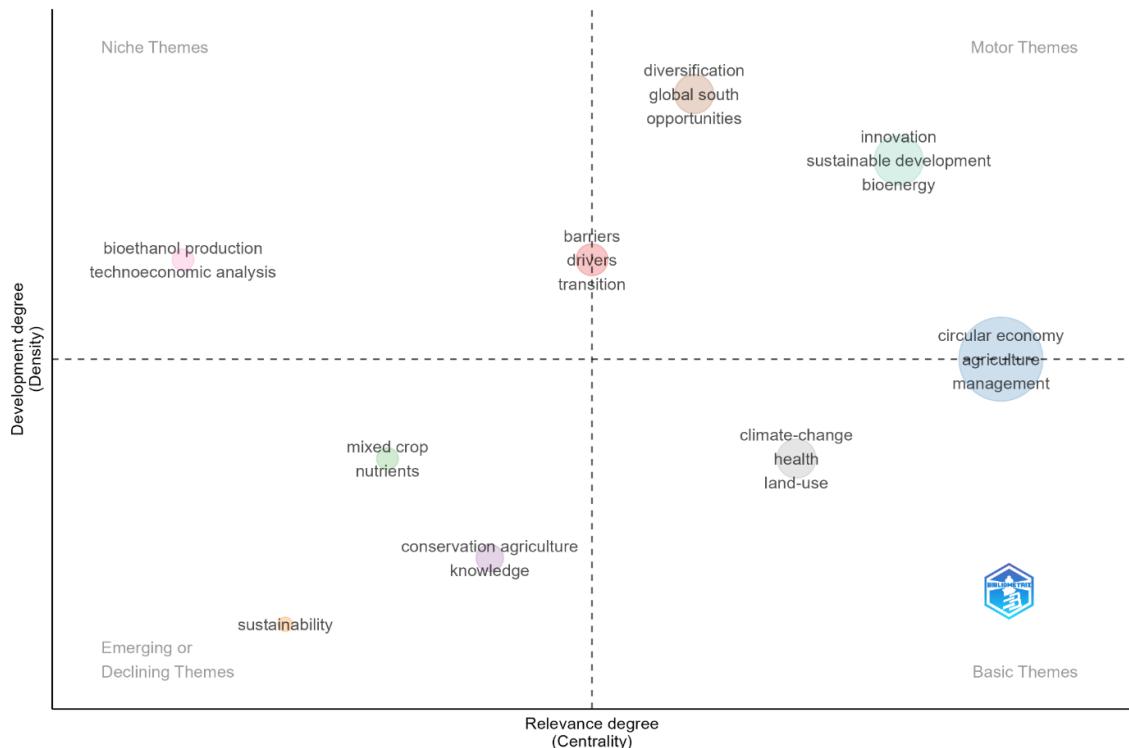


Fonte: Autoria própria

São recorrentes, além dos termos de maior interesse no estudo (*circular economy* e *agriculture*), conceitos correlatos como *management* (gestão ou gerenciamento) e *climate change* (mudanças climáticas), o que indica uma convergência entre práticas de produção agrícola e estratégias de sustentabilidade. A presença de termos vinculados a inovação, sustentabilidade e biomassa reitera o foco em soluções tecnológicas para a escalabilidade da EC, ao passo que a distribuição de tópicos menores, relacionados a reúso, irrigação, solo, bioenergia e nutrientes, indica áreas emergentes e intersetoriais que conectam soluções para recursos hídricos, resíduos e produção de energia. A aparição do termo *global south* também se faz notar com interesse pois demonstra uma preocupação específica dos trabalhos para com a região do Sul Global, onde predominam países em desenvolvimento e de economia primária e, portanto, oportunidades de gestão agrícola circular que mantêm a sustentabilidade ambiental, social e econômica são de extrema relevância.

A Figura 6 mostra o mapa temático da amostra bibliográfica, que posiciona bolhas de temas com base em dois eixos: centralidade (que representa a importância do tema para a estrutura geral da amostra literária) e densidade (indica a coesão interna do tema), sendo que os tamanhos das bolhas indicam a ocorrência do tema e, portanto, sua popularidade na base científica.

Figura 6 – Mapa temático da bibliografia



Fonte: Autoria própria

Os temas do quadrante superior direito são chamados de motores, pois apresentam alta centralidade e alta densidade e, portanto, são consideradas áreas consolidadas do conhecimento e que orientam a pesquisa no domínio. A bolha composta pelos termos relacionados a inovação, desenvolvimento sustentável e bioenergia são considerados motores por estarem consolidados na amostra observada, assim como a relacionada à diversificação de oportunidades e ao Sul Global.

Temas básicos (quadrante inferior direito) apresentam alta centralidade em contraste à baixa densidade e, apesar de serem importantes para a disciplina de interesse, são pouco desenvolvidos internamente, apresentando boas oportunidades para o desenvolvimento de novas pesquisas. A bolha relacionada a mudanças climáticas, uso do solo e saúde, portanto, se mostra como um campo promissor para trabalhos futuros pois são eixos centrais, mas pouco densos nessas discussões.

Os temas de nicho, no quadrante superior esquerdo, têm baixa centralidade e alta densidade, e configuram subcampos temáticos especializados, com literatura consistente, mas influência limitada sobre o escopo de pesquisas em geral. Isso permite observar que os trabalhos

relacionados com análises técnico-econômicas e produção de bioetanol são áreas com interferência restrita em outras frentes da escalabilidade das práticas de EC na agricultura.

Por fim, os temas emergentes ou em declínio (quadrante inferior esquerdo) têm baixa centralidade e baixa densidade e representam tópicos pouco consolidados que podem ser áreas promissoras ou sinais de perda de relevância, o que pode ser diferenciado através da análise temporal da produção temática. Pela avaliação dos trabalhos relacionados a cada uma das bolhas, entende-se que a bolha relacionada à sustentabilidade é um tema em declínio, o que é percebido pela tendência atual de pormenorizar pilares de sustentabilidade (social, ambiental, econômica) em outros termos, em detrimento do uso do conceito amplo.

## 5.2 Análise de conteúdo

A análise de conteúdo foi feita a partir da leitura detalhada do corpus de trabalhos incluídos na pesquisa, apoiada pela RSL e direcionada a responder às perguntas prepostas. Na etapa de pré-análise, o corpus foi avaliado de uma forma geral e, a partir dele, foram observados os eixos temáticos que dariam suporte aos achados científicos para as questões de interesse. Com a identificação e a codificação dos eixos Institucional, Político, Técnico, Social e Gestão, foi possível responder à PP1 e, a partir da análise pormenorizada de cada eixo, identificar linhas estratégicas que atuam na promoção da escalabilidade do modelo circular na agricultura, o que colabora para responder à PP2 e, finalmente, à PP3 propostas para essa pesquisa.

Observou-se no mapa temático da bibliometria (Figura 6) que os temas relacionados a gestão (*management*) e aspectos técnicos (*mixed crop, conservation agriculture, diversification*) são bastante relevantes na literatura, o que é confirmado pelas análises de conteúdo das seções adiante, onde os eixos Técnico (5.2.3) e Gestão (5.2.5) se mostraram essenciais para a discussão da escalabilidade do modelo.

### 5.2.1 Institucional

#### 5.2.1.1 Parcerias intersetoriais e articulação de interesses

A colaboração intersetorial é um elemento-chave para acelerar a adoção de práticas de EC, pois ambientes de comunicação entre múltiplas partes interessadas facilita a troca de conhecimento e a exploração conjunta de desafios técnicos e regulatórios. Além disso, o estabelecimento de parcerias entre indústrias agrícolas e entidades de pesquisa fomenta a

inovação, ao passo que a colaboração com varejistas e consumidores atua no apoio da viabilidade comercial de produtos derivados de resíduos (Shawky; Gibbons; Selim, 2025). Para operacionalizar as práticas circulares em escala, é necessária a colaboração dos agentes da cadeia agrícola com empresas de engenharia e operadores logísticos para otimizar rotas de coleta e processamento de resíduos, garantir a confiabilidade dos equipamentos, reduzir custos operacionais e viabilizar manutenção necessária e adequada em um ambiente de apoio da comunidade e de conformidade socioambiental (Shawky; Gibbons; Selim, 2025; Taron *et al.*, 2023).

#### 5.2.1.2 Arranjos institucionais e soluções financeiras

As PPPs são um instrumento de implementação de políticas públicas que viabilizam financeiramente atividades de interesse coletivo e podem funcionar para escalar projetos de EC através da colaboração da iniciativa privada pelo acesso a metodologias avançadas, operação e manutenção (O&M) com bom custo-benefício e garantias de conformidade socioambiental que aumentam a aceitabilidade popular. Apesar disso, suas soluções podem demandar investimentos iniciais elevados, pelo qual torna-se imprescindível avaliar a sustentabilidade econômico-financeiro nas PPPs e prever meios de fomento, incentivo e amortização para as propostas (Manisha *et al.*, 2024; Taron *et al.*, 2023). Nesse sentido, os mecanismos financeiros, incluindo subsídios iniciais e incentivos econômicos para popularização de ferramentas como rastreabilidade por *blockchain* e feiras sobre simbiose industrial, podem reduzir barreiras de investimento e atrair capital privado, viabilizando a implantação de projetos de médio e grande porte para exemplificar o valor das iniciativas e promovendo a escalabilidade (Filho *et al.*, 2025; Panghal *et al.*, 2022). Financiamentos compartilhados para adaptação de infraestrutura existente, como estações de tratamento de esgoto para geração de água de reúso e usinas de processamento de biomassa, são iniciativas que viabilizam soluções de ciclagem hídrica e nutricional de forma mais competitiva (Chojnacka *et al.*, 2020). A padronização na classificação industrial das SBN e a rastreabilidade de investimentos nessas atividades aplicadas à EC permite a ampliação da base de evidências, o que colabora com a integração desses dados em modelos econômicos para estimar impactos econômicos positivos da implementação dessas práticas e, portanto, fomenta o equilíbrio financeiro de sua implementação (Chausson *et al.*, 2024).

### 5.2.1.3 Intermediação de mercado, terminais e segurança de demanda

Instalações como terminais, centros de distribuição e atacadistas funcionam como intermediários logísticos para mediação de risco, agregação de ofertas e promoção de previsibilidade de mercado para pequenos e médios produtores, atribuindo mais segurança econômico-financeira para modelos circulares. A articulação desses espaços com arranjos de cadeia curta e hubs locais garante que frutos de reciclagem e valorização de resíduos e efluentes encontrem mercados com mais facilidade, promovendo incentivo a investimentos em práticas circulares (Elton; Dipieri; Cole, 2025).

### 5.2.1.4 Digitalização e interoperabilidade

Tecnologias digitais inovadoras, como *blockchain*, plataformas de geolocalização e sistemas eletrônicos de gestão de recursos, oferecem soluções para garantir informações críveis e de qualidade, conectar fontes de excedentes materiais e energéticos e estabelecer relações mercadológicas e de confiança entre atores da cadeia agrícola, mas ainda demandam regulação legal, apoio de instituições públicas e casos de aplicação em maior escala para expandirem sua aceitabilidade e adoção (Fernandez-Mena *et al.*, 2020; Panghal *et al.*, 2022). A interoperabilidade entre plataformas de código aberto e soluções de iniciativa privada facilita o mapeamento de fluxos de entradas e saídas da unidade rural, otimizando a logística de aproveitamento e destinação e abrindo espaço para contratos que conectem oferta e demanda. Essa conexão gera uma simbiose circular que, quando consolidada, atribui competitividade mercadológica para produtos de origem renovável e sustentável e promove retorno financeiro para a ampliação da EC no ecossistema agroeconômico (Fernandez-Mena *et al.*, 2020; Filho *et al.*, 2025).

### 5.2.1.5 Resiliência das cadeias de suprimento

A diminuição da dependência mineral de fertilizantes para a circularização nutricional na agricultura requer a diversificação de fontes de nutrientes críticos, como o potássio, através de estratégias que incluem a incorporação de remineralizadores obtidos localmente, o aumento do uso de fertilizantes de biomassa, a reciclagem de resíduos alimentares e o reaproveitamento de resíduos agrícolas (como esterco e esgoto). Além do aproveitamento de resíduos e efluentes gerados na agricultura, a prática de tratar a unidade agrícola como um sistema fechado promove

a renovabilidade e, por consequência, está associada à diminuição da dependência de mercados globais e à mitigação de externalidades negativas do transporte longínquo e da escala reduzida de compras (Yakovleva *et al.*, 2021). Paralelamente, a incorporação de processos de biotecnologia que visem múltiplos produtos de valor (bioenergia, aminoácidos, fertilizantes) e a avaliação técnico-econômica e do ciclo de vida permitem tornar economicamente viáveis as cadeias de valorização de resíduos agroindustriais (Awasthi *et al.*, 2022). Para operacionalizar essas estratégias, é necessário o movimento coordenado entre pesquisa e indústria para alinhar prioridades tecnológicas, objetivos ambientais e demandas de mercado.

#### 5.2.1.6 Pesquisa aplicada e desenvolvimento institucional

O investimento em P&D é necessário para superar barreiras técnicas, como o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes de conversão energética, e de governança, a fim de agregar cadeias que usem o aproveitamento local de biomassa como acelerador do desenvolvimento econômico rural, aliando o uso integral da produção agrícola e agregação de valor aos produtos por meio de tecnologias de conversão e estratégias de mercado (Bjornlund *et al.*, 2023). Além disso, a combinação de capacitação empresarial e a criação de plataformas colaborativas multifacetadas gera um ambiente propício para inovações tecnológicas e arranjos institucionais que gerem cadeias circulares robustas e justas em termos socioambientais (Ahenkan *et al.*, 2025; Bjornlund *et al.*, 2023).

#### 5.2.2 Político

##### 5.2.2.1 Financiamentos, P&D e PPPs

Consolidar a transição para cadeias circulares exige um pacote de financiamento público e privado que combine apoio direto a P&D, subsídios para amortizar investimentos de capital intensivo e mecanismos de financiamento ligados a hubs locais. Programas governamentais de fomento econômico reduzem o risco de investimentos em estrutura e tecnologia para a operacionalização da EC no ambiente rural, além de apresentar potencial para conectar investidores, engenharia, intermediários de cadeia e pequenos produtores. Paralelamente, PPPs são fonte de capacidade operacional, O&M de qualidade e contratos seguros, que são essenciais para escalabilidade técnica e econômica dessas iniciativas (Filho *et al.*, 2025; Shawky; Gibbons; Selim, 2025; Taron *et al.*, 2023). Os incentivos financeiros podem vir através de linhas de crédito, incentivos fiscais e cofinanciamento em estruturas já existentes que requeiram

adaptações técnicas, como estações de tratamento de efluentes e unidades de valorização de resíduos, ou que precisem de apoio para viabilidade econômica de implantação, como biodigestores, biorrefinarias e infraestruturas de reúso de águas residuárias, de modo a tornar replicáveis em escala territorial os projetos de eficácia comprovada em escala laboratorial (Chojnacka *et al.*, 2020; Fernandez-Mena *et al.*, 2020; Manisha *et al.*, 2024).

#### 5.2.2.2 Regulação pró-inovação e normas de mercado

Políticas públicas devem priorizar a regulação coerente e voltada à circularidade, prevendo normas de tratamento de externalidades e aproveitamento de materiais em conformidade com a segurança sanitária e ambiental de forma a funcionar como incentivo a práticas de reaproveitamento sem comprometer aspectos de saúde pública. Isso se faz necessário através de processos pautados em evidências científicas, certificações de procedência e padrões de rotulagem que facilitem a entrada de produtos derivados de resíduos no mercado sem comprometer a segurança do consumidor, promovendo, se necessárias, revisões normativas que desonerem práticas de aproveitamento de subprodutos quando comprovada a segurança sanitária e ambiental, de modo a reduzir e evitar barreiras injustificadas à inovação circular (Garrett *et al.*, 2020; Shawky; Gibbons; Selim, 2025). Aliados às práticas regulatórias, os instrumentos orientados ao mercado, como portfólios de energia renovável, compras públicas de origem circular e esquemas de preço premium por produtos certificados, ampliam a segurança e previsibilidade da demanda de modo a incentivar os investimentos em bioenergia e produtos circulares (Gava *et al.*, 2020). A inovação mostrou-se como um aspecto motor nas pesquisas sobre escalabilidade do modelo circular (Figura 6), pelo qual deve receber atenção especial dos formuladores de políticas públicas.

#### 5.2.2.3 Infraestrutura territorial, hubs e desenvolvimento de mercado

O fomento a hubs de simbiose rural-industrial, terminais logísticos e cadeias de suprimento locais concentra volumes materiais, reduz custos logísticos e promove a amortização de investimentos em instalações de reciclagem e valorização de resíduos e efluentes agrícolas, de modo que políticas de zoneamento e redução tributária facilitam a operação desses espaços e atraem atores maiores para apoiar negócios locais (De Pilla Jr. *et al.*, 2024; Filho *et al.*, 2025). De modo paralelo, os programas governamentais de desenvolvimento de mercado (feiras, incubadoras e parcerias com marcas e varejistas) são necessários para

validar cadeias de valor mais curtas frente a investidores, com o objetivo de atrair capital privado, acelerar a comercialização de produtos derivados de resíduos e promover confiança do consumidor (Filho *et al.*, 2025; Shawky; Gibbons; Selim, 2025).

#### 5.2.2.4 Governança, transparência e monitoramento

Um arcabouço institucional que inclua sistemas de contabilidade e rastreio de investimentos públicos e privados, bem como inventários nacionais e métricas de desempenho padronizadas é necessário para mapear os resultados da implantação do modelo circular nas atividades rurais e alimentares, a fim de modelar impactos macroeconômicos e justificar alocação contínua de recursos para esse fim. Sem essa transparência, políticas públicas e PPPs orientadas à EC perdem credibilidade e passa a ser difícil projetar soluções circulares para o setor agrícola que sejam bem recebidas por produtores, consumidores e investidores (Chausson *et al.*, 2024). A elaboração de contratos públicos claros para o estabelecimento de PPPs, a exigência de conformidade socioambiental e a promoção de relações públicas que fomentem o apoio comunitário podem ser elementos complementares que reduzem o risco de projetos de recuperação de recursos (Chausson *et al.*, 2024; Taron *et al.*, 2023).

#### 5.2.2.5 Capacitação, inclusão social e preparação regulatória

As políticas públicas voltadas à circularização das atividades agrícolas devem explicitar metas de justiça e inclusão, de modo a apoiar microempreendedores, atores informais e ecossistemas locais com assistência técnica, capacitação e acesso a financiamento. Esse enfoque promove a inclusão desses atores nos sistemas de EC e evita que a transição para o modelo circular aprofunde desigualdades econômicas entre agentes, além de facilitar a incubação de soluções “mais-que-transacionais”, que depois podem ser integradas a cadeias maiores e mais robustas (Ahenkan *et al.*, 2025; Härrri; Levänen; Koistinen, 2020; Siegel e van Leeuwen, 2025). As entidades governamentais também têm papel em fornecer apoio regulamentar a novas tecnologias digitais e financeiras (*blockchain*, criptomoedas vinculadas a hubs) para facilitar e equilibrar estruturas legais com interoperabilidade a produtores e proteção a consumidores (Filho *et al.*, 2025; Panghal *et al.*, 2022).

### 5.2.3 Técnico

#### 5.2.3.1 Eficiência energética e engenharia de processos

A eficiência energética deve ser ponto de partida no âmbito técnico. Intervenções de baixo custo em recuperação de calor e promoção de eficiência operacional atuam reduzindo custos e criam espaço para maiores investimentos técnicos e econômicos, como a eletrificação industrial e a captura de carbono para mitigar as mudanças climáticas, que se mostraram uma preocupação expressiva na bibliometria (Shawky; Gibbons; Selim, 2025; Steed; Mercuur; Mangaroo-Pillay, 2025). Para a implementação de projetos de maior escala, é necessário compatibilizar engenharia avançada de processos (reatores otimizados, tecnologias de fluxo contínuo e compatibilização energética no ambiente agroindustrial) e a colaboração com empresas especializadas nesse tipo de solução, a fim de trabalhar com processos de transferência de calor e massa para integrar tecnologias de valorização à infraestrutura que já existe (Shawky; Gibbons; Selim, 2025). A aparição do termo relacionado à produção de bioetanol no mapa temático da bibliografia (Figura 6) mostra a densidade do tema e indica a importância do desenvolvimento de soluções energéticas sustentáveis para a escalabilidade da EC.

#### 5.2.3.2 Valorização de resíduos e diversificação de produtos

A integração em biorrefinarias que proporcione a conversão de resíduos agroindustriais em energia, fertilizantes e biomoléculas de alto valor melhora a economia de escala das unidades circulares, pois combina fluxos de alto volume e baixo valor com produtos de maior valor agregado. Para isso, roteiros técnico-econômicos e avaliações de ciclo de vida servem para orientar a escolha de rotas mais eficientes e sustentáveis em termos econômicos e ambientais para alocação estratégica de recursos e investimentos (Awasthi *et al.*, 2022; Fit *et al.*, 2025). Soluções modulares e hubs territoriais permitem escalonamento gradual das instalações técnicas e podem começar com processos mais maduros (digestão anaeróbia, processamento térmico de resíduos e biomassa) e adicionar unidades de refino (extração de biomoléculas, tecnologias laboratoriais) conforme crescem demanda e mercado (Awasthi *et al.*, 2022; Filho *et al.*, 2025).

### 5.2.3.3 Manejo nutricional, alternativas circulares e biossegurança

O fechamento técnico de ciclos de nutrientes passa pela gestão de nutrientes específicos localmente (SSNM, do inglês *site-specific nutrient management*), pela popularização do uso de fertilizantes orgânicos e remineralizadores locais, além da reciclagem de resíduos de culturas agrícolas e fontes alimentares para reduzir a dependência de fontes de potássio importadas. Os métodos de tratamentos como compostagem termofílica, digestão controlada e pós-tratamentos garantem a qualidade agronômica necessária para utilização em ampla escala e minimizam riscos sanitários que preocupam consumidores (Dobermann *et al.*, 2022; Yakovleva *et al.*, 2021). O desenvolvimento e a manutenção de protocolos de higienização, bem como de padrões de qualidade operacional, são necessários para a popularização dos insumos reciclados no mercado e a proteção da saúde pública (Garrett *et al.*, 2020; Manisha *et al.*, 2024). Iniciativas de manejo nutricional a partir de resíduos agrícolas fortalecem a valorização da biomassa, o que se mostra um ponto de interesse da bibliografia (vide mapa da Figura 5) e que está alinhado com os princípios da EC.

### 5.2.3.4 Infraestrutura modular, logística e hubs territoriais

A implantação de infraestrutura coletiva para processos que requeiram escala mínima (compostagem, biodigestão e terminais logísticos de comercialização) ajuda a agregar volumes e reduz custos logísticos, permitindo a amortização de investimentos iniciais. As políticas técnicas devem priorizar pré-tratamento próximo à fonte geradora/produtora e a recuperação energética integrada para maximizar rendimento líquido desses investimentos (De Pilla Jr.; Pimenta; De Oliveira, 2024; Hoof *et al.*, 2024; Shawky, Gibbons e Selim, 2025). Além disso, hubs que combinam incubação de negócios circulares, plataformas de gestão de resíduos e estruturas modulares escaláveis permitem a pequenos produtores o acesso a alternativas técnicas mesmo que não suportem todo o custo de capital, o que favorece a transição técnica do modo artesanal ao semi-industrial e promove a escalabilidade dos modelos (Filho *et al.*, 2025).

### 5.2.3.5 TRL, digitalização e capacitação técnica

Aplicar um quadro de TRL adaptado à EC orienta as atividades de P&D, modelos-piloto e certificações necessárias para desenvolver e maturar práticas até a etapa de comercialização

viável, auxiliando no direcionamento de investimentos e na redução dos riscos associados à inovação (Matarazzo *et al.*, 2024). Ferramentas digitais, simulações baseadas em dados e sistemas de aconselhamento técnico por consultorias especializadas apoiam a difusão de práticas como SSNM e ajudam agricultores a planejar investimentos em tecnologias circulares, devendo ser associadas à inclusão digital e ao suporte técnico, que são decisivos para escalar soluções especialmente entre pequenos produtores com cobertura de rede limitada (Dobermann *et al.*, 2022; Hoof *et al.*, 2024). Além disso, simulações baseadas em dados permitem dimensionar investimentos tecnológicos ao longo do tempo de forma mais fiel e ajudam produtores a identificar o momento adequado para consolidar infraestrutura coletiva em vez de soluções artesanais. Combinar valores comunitários, contar com redes de intermediários que asseguram mercado e promover ferramentas digitais para inclusão de agricultores pautados no modo artesanal forma um ecossistema socio-técnico capaz de escalar a EC nas atividades agrícolas e que preserva a diversidade produtiva e a justiça territorial (Fernandez-Mena *et al.*, 2020; Hoof *et al.*, 2024; Quirk; Gibson; Cook, 2024).

## 5.2.4 Social

### 5.2.4.1 Capacitação e difusão de conhecimento

A ampliação da influência da EC na agricultura está subordinada à capacitação técnica e ao compartilhamento de experiências práticas que transformam conhecimento técnico-científico em mudanças no comportamento individual e no trabalho rural. Estudos mostraram que agricultores que participam de treinamentos sobre práticas de agricultura regenerativa têm muito mais probabilidade de adotá-las, chegando a possibilidade de incorporação dessas práticas 4,67 vezes maiores em relação ao caso de não participantes, o que demonstra que a formação sistemática e demonstrações instrutivas e didáticas atuam fortemente na difusão tecnológica e cultural da EC (Ntawuhiganayo *et al.*, 2023). Esses processos de aprendizagem, entretanto, devem incluir passos concretos, como treinamento em rotação de culturas e consórcio de espécies para equilibrar demandas nutricionais, oficinas práticas de manejo integrado de pragas para evitar o uso desmedido de agroquímicos sintéticos, capacitação em compostagem para aproveitamento de resíduos agrícolas e ciclagem de nutrientes e formação em tecnologias mais robustas, como biodigestores, que operam de forma mais robusta em larga escala, bem como possibilidades de suporte técnico adicional e financiamento (público ou privado) para ultrapassar barreiras de entrada (Fernandez-Mena *et al.*, 2020; Murindangabo *et*

*al.*, 2021). A necessidade de avaliar diferentes oportunidades econômicas e ambientais na circularização no agronegócio para planejar investimentos é suprida com disponibilidade de assistência agronômica independente, extensão rural e simulação de cenários com base em dados permite, o que também auxilia na redução de riscos na escalabilidade dessas práticas. Com a consolidação de uma base teórica e prática em rotação de culturas, sistemas agroflorestais, compostagem e controle de pragas, os agricultores se fortalecem como agentes da transição para a circularidade de forma mais eficiente e promissora (Fernandez-Mena *et al.*, 2020; Ntawuhiganayo *et al.*, 2023).

#### 5.2.4.2 Transição a partir de escala local e valores comunitários

As formas da circularidade “mais-que-transacional”, observada em espaços intermediários e regionais, demonstra que valores sociais e apropriação local dos modelos de negócio impulsionam a escalabilidade. Espaços como cafeteria, mercados locais e pequenas empresas relacionadas ao agronegócio agem disseminando e fortalecendo valores de sustentabilidade e circularidade em nível micro; isso acontece uma vez que sua escala local de influência e sua proximidade com agentes relacionados à cadeia agroalimentar (agricultores, fornecedores, consumidores) tornam mais viável o surgimento de redes colaborativas que atuem conjuntamente em práticas de gerenciamento sustentável de resíduos, como a compostagem, e de obtenção local e sazonal de suprimentos (Quirk; Gibson; Cook, 2024). Sistemas territoriais atuam encurtando cadeias, facilitando a redistribuição de sobras e subprodutos agroalimentares e aumentando a previsibilidade de comercialização para produtores de pequena e média escala, além de evitarem a dependência de cadeias lineares globais que afastam recursos naturais de seus locais de origem, o que aumenta a resiliência agroalimentar (Elton; Dipieri; Cole, 2025).

#### 5.2.5 Gestão

##### 5.2.5.1 Gerenciamento de cadeias e coordenação coletiva

O design das cadeias de suprimentos direcionado à circularidade exige a definição clara de necessidades e rotas materiais entre produtores, processadores, distribuidores e consumidores, uma vez que a viabilidade econômica de operações como o processamento de resíduos depende, em grande parte, da proximidade entre gerador e unidade de tratamento que

reduz custos de armazenagem e frete. Além disso, esse design deve observar a escala requerida para processamento do resíduo, a fim de arranjar volumes economicamente viáveis através da integração de setores da cadeia de suprimentos (De Pilla Jr.; Pimenta; De Oliveira, 2024). Nesse tipo de disposição, terminais de transbordo e intermediários logísticos agem na consolidação dos volumes até que atinjam lotes comercializáveis e/ou suficientes para o tratamento biológico, e podem viabilizar a sustentação de investimentos em infraestrutura compartilhada. A utilização de plataformas digitais de geolocalização conecta oportunidades locais de oferta e demanda, facilita trocas regionais de insumos e resíduos, reduzindo custos de transporte e fragmentação de oferta e demanda, além de facilitar o gerenciamento regional de insumos e resíduos e promover a circularidade de forma escalonável (De Pilla Jr.; Pimenta; De Oliveira, 2024; Fernandez-Mena *et al.*, 2020). As cadeias de suprimento mais curtas, quando conectam setores similares, aumentam o volume agregado e permitem a amortização de investimentos em infraestrutura de reciclagem compartilhada, gerando também benefícios ambientais e empregos regionais (De Pilla Jr.; Pimenta; De Oliveira, 2024). Por isso, acordos contratuais que prevejam rotas de escoamento comuns são fundamentais para fomentar a escalabilidade de práticas financeira e ambientalmente sustentáveis. A comunicação entre diferentes setores (incluindo aqueles fora da agricultura) e suas demandas, como o nexo água-energia-alimentos-ecossistemas discutido por Demir e Alp (2025), também se faz parte necessária da gestão de cadeias para proporcionar soluções circulares que possam ganhar escala.

#### 5.2.5.2 Infraestrutura, tecnologias e diversificação de produtos

A operacionalização de práticas de EC no setor agrícola requer investimentos em infraestrutura física, como pátios coletivos de compostagem, biodigestores compartilhados e centros de reciclagem local, e em atributos tecnológicos para o aproveitamento energético de resíduos, valorização como fertilizantes ou biomoléculas de maior valor agregado. A estratégia de estruturas compartilhadas colabora com a economia de escala e a rentabilidade de combinar produtos de alto volume e baixo valor (como a eletricidade) com produtos de baixo volume e alto valor (como biomoléculas), que são viabilizadas pela modelagem tecno-econômica de avaliação prévia e pela biotecnologia (Awasthi *et al.*, 2022). Tecnologias mais maduras, como digestão anaeróbia para frações líquidas e aproveitamento energético para resíduos sólidos, devem ser integradas a cadeias de produção locais através de PPPs e subsídios de CAPEX, ao passo que a diversificação de produtos (energia, aminoácidos, bioproductos, fertilizantes

remineralizadores) reduz a dependência de mercados externos e amplia o leque de fontes locais acessíveis para agricultores de menor renda (Awasthi *et al.*, 2022; Manisha *et al.*, 2024; Yakovleva *et al.*, 2021). O estabelecimento relações entre nível tecnológico e coordenação coletiva dos atores envolvidos também permite avaliar *trade-offs* de produtividade e adotar soluções que respondam às especificidades territoriais e de escala de cada cadeia (Fernandez-Mena *et al.*, 2020; Garrett *et al.*, 2020), ponto importante para a escalabilidade de práticas de EC identificado no Capítulo 3.

#### 5.2.5.3 Ambiente institucional, incentivos e pesquisa aplicada

A criação de um ambiente regulatório e institucional favorável é um fator necessário para a consolidação dos arranjos circulares de cadeia de suprimentos, pois, dentre outros benefícios, reduz o risco do investimento coletivo em infraestrutura compartilhada (Fernandez-Mena *et al.*, 2020). As PPPs tornam economicamente viáveis e escaláveis soluções como o reúso de águas residuárias e sistemas de recuperação de nutrientes a partir de biomassa, trazendo vantagens socioambientais como a geração local de emprego e maior segurança hídrica para irrigação intensiva (De Pilla Jr.; Pimenta; De Oliveira, 2024; Manisha *et al.*, 2024). Por fim, além das alternativas técnicas já disponíveis, é necessário direcionar iniciativas de P&D para modelos de governança de cadeias circulares que usem a irrigação de fontes circulares e o processamento local de biomassa excedente como impulsos para o desenvolvimento rural e de agregação de valor, a fim de minimizar os impactos associados ao consumo hídrico e à geração de resíduos no campo para favorecer a escalabilidade do modelo circular (Bjornlund *et al.*, 2023; Fernandez-Mena *et al.*, 2020; Yakovleva *et al.*, 2021).

### **5.3 Perspectivas para a escalabilidade do modelo circular na agricultura**

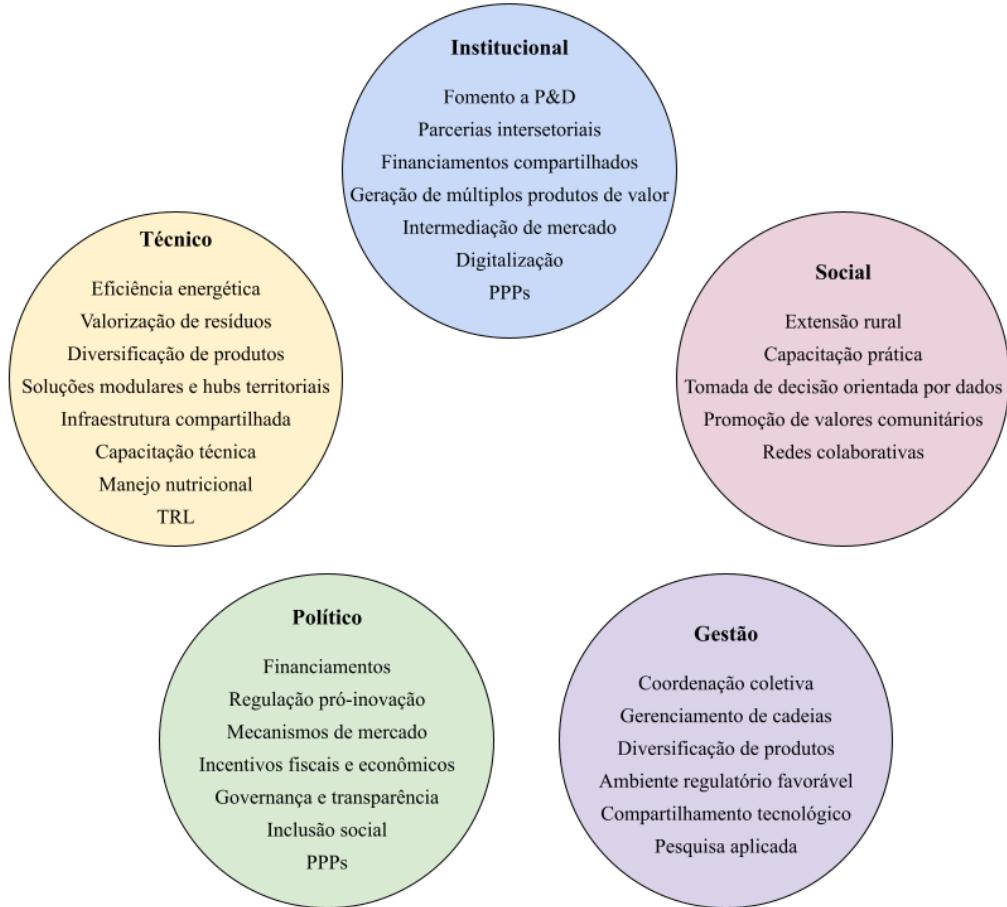
A escalabilidade das práticas de EC na agricultura dependem de múltiplos fatores e atores. Pela análise de conteúdo, proposta por Bardin (2006) e aplicada à bibliografia coletada, percebe-se que o ambiente propício para tal desenvolvimento não depende apenas do desenvolvimento tecnológico e das inovações sustentáveis, mas de aspectos institucionais e sociais que viabilizem o emprego dessas práticas de forma direcionada à promoção da circularidade (Bjornlund *et al.*, 2023; Härri; Levänen; Koistinen, 2020; Quirk; Gibson; Cook, 2024). Nesse sentido, a ampliação da adoção de medidas circulares no ecossistema agroalimentar, em médio prazo, depende da articulação de partes interessadas – seja pelo

interesse na sustentabilidade em seus múltiplos pilares, o desejo por cadeias de suprimentos mais resilientes ou mesmo pelo impacto já existente da finitude de recursos naturais e dos passivos ambientais gerados na agricultura linear – e da responsabilização sobre fatores sob a alcada de alcance de cada um frente ao meio ambiente e à sociedade, considerando suas perspectivas atual e futura.

Os estudos avaliados indicam que o emprego de métricas para avaliação técnico-econômica, parcerias intersetoriais e incentivos à captação de investimentos privados atuam no atingimento da economia de escala e na capacitação “de baixo para cima”, promovendo uma transição em ampla escala justa e sustentável para a agricultura (Ahenkan *et al.*, 2025; Chausson *et al.*, 2024; Gava *et al.*, 2020). Ainda que seja indiscutível a atuação do modelo “de baixo para cima” na promoção sólida da EC nas práticas agrícolas, é percebida grande importância das iniciativas institucionais, políticas e técnicas atuando como ponto de partida na propulsão do modelo, pois concentram capital, relevância mercadológica e tecnologia. Não obstante, ao entendimento obtido sobre as vantagens de fortalecer as relações orgânicas e locais fundamentadas em valores de EC e em níveis micro, os agentes de mais alto patamar, que detêm maior capital financeiro e de poder, dispõem de maior poder de ação e priorização de medidas que se espalhem por múltiplas faces da agricultura e, portanto, são caminhos mais eficientes para carregar as entradas da transição.

A Figura 7 sumariza as oportunidades para escalar o modelo de EC na agricultura, com base nos achados da RSL e da análise de conteúdo. Foram identificados 33 fatores centrais que proporcionam a escalabilidade da EC no contexto agrícola, distribuídos nos 5 eixos discutidos na seção 5.2. Com isso, obtém-se respostas para a PP1 e a PP2.

Figura 7 – Quadro de fatores e oportunidades de promoção da escalabilidade da EC na agricultura



Fonte: Autoria própria

Observa-se que o eixo Técnico é o que apresenta mais estratégias de escalabilidade do modelo circular, ao passo que o eixo Social dispõe de menos iniciativas. Isso sugere que a literatura relacionada a aspectos técnicos é mais trabalhada e apresenta mais mecanismos de escalabilidade do que as vias sociais de implementação e ganho de escala do modelo.

Com a articulação das diferentes frentes envolvidas nas atividades econômicas relacionadas à agricultura, entende-se que é possível atingir a aplicação do modelo circular em ampla escala e nos diversos fluxos que o setor engloba.

Em termos de agenda científica para avançar na viabilidade da EC em atividades agrícolas de ampla escala, as principais lacunas identificadas são a medição dos impactos econômicos de soluções circulares, estruturação de modelos de capacitação de pequenos e médios agricultores e esquemas mercadológicos e regulatórios de incentivos e rotulação de produtos provenientes de ecossistemas circulares, o que responde à PP3 proposta nesse trabalho.

## 6 CONCLUSÕES

Ampliar a adoção de práticas e ecossistemas de EC enfrenta desafios de características e competências diversas. Entretanto, com as análises bibliométricas e de conteúdo dessa pesquisa, entende-se que o maior desafio está em promover um arcabouço regulatório, econômico, social e técnico adequado e em articular múltiplas partes interessadas na solução dos impasses associados à transição para a circularidade. Entende-se que existem soluções técnicas para os desafios de circularidade da cadeia, renovabilidade de matérias-primas, reaproveitamento e valorização de resíduos e extração de produtos de interesse econômico a partir de externalidades negativas do modelo agrícola linear; em verdade, falta estabelecer um ambiente propício para sua implementação, e o distanciamento do modelo circular que o estado atual das práticas agrícolas apresenta ao redor do mundo, mesmo que existam tantas soluções técnicas propostas por instituições de pesquisa, implica que a transição para agricultura sustentável e suficiente não pode ser atingida com soluções técnicas e de engenharia implementadas de forma isolada.

Dos propulsores de escalabilidade identificados e apontados no quadro da Figura 7, dá-se destaque às estratégias dos eixos Institucional, Político e Técnico, que apresentam oportunidades decisivas para a implantação de práticas de EC em larga escala especialmente para agentes de setores agroindustriais, públicos e técnico-científicos. De forma paralela, e não obstante à importância das relações orgânicas e práticas de pequena escala na promoção da circularidade, observa-se que o esforço inicial é mais eficaz “de cima para baixo”, e que a consolidação e a aderência ao modelo circular no campo vêm “de baixo para cima”. Sintetizando todos os fatores encontrados, o quadro resultante da avaliação da literatura científica compõe, para além de uma contribuição acadêmica, um guia para gestores do agronegócio e formuladores de políticas públicas que buscam implementar a EC além de projetos-piloto.

Atores institucionais e comunidade científica vêm como fontes de inovação, expertise, força de trabalho, tecnologia e geração de renda, ao passo que a política pública complementa esse arcabouço por meio de incentivos e subsídios econômicos, regulações favoráveis à circularidade e instrumentos fiscais que favoreçam soluções de EC no lugar da linearidade, de modo a prover o ambiente legal, social e tecnológico necessário para que investimentos coletivos alcancem escala.

Considera-se que os objetivos e as perguntas dessa pesquisa foram satisfatoriamente atendidos, incluindo métodos robustos para a obtenção de respostas valiosas ao cenário de predomínio linear e insustentável dos meios atuais de prática da agricultura.

A principal contribuição desse trabalho consiste em sistematizar as vias de aplicação da EC em cadeias agrícolas a ampla escala e apontar estratégias que possam ser empregadas por diferentes esferas da cadeia para circularizar o setor, apontando para fatores relacionados a cada uma delas que facilitem e propulsionem a implementação da EC.

Em síntese, foi observado que compreender as vias de escalabilidade da EC na agricultura constitui, para além de um desafio técnico e acadêmico, uma necessidade improprietável para a transição para sistemas produtivos mais resilientes e sustentáveis, diminuindo as externalidades negativas do modelo linear, promovendo a segurança alimentar e priorizando as agendas ambientais globais.

## 7 IMPLICAÇÕES, LIMITAÇÕES E AGENDA FUTURA

Como implicações dessa pesquisa, tem-se a sistematização do cenário de vias para a escalabilidade a meso e macro níveis dos modelos circulares propostos pela comunidade científica para a agricultura e a identificação de fatores decisivos para a ampliação da adoção dessas práticas, oferecendo um importante guia conceitual sobre as vias de implementação de práticas agrícolas associadas aos princípios da EC às partes interessadas e relevantes no campo, como gestores, produtores e formuladores de políticas públicas.

As limitações dessa pesquisa consistem, principalmente, nas adoções feitas para a coleta de dados nas bases científicas, como a opção por incluir somente artigos científicos (sem considerar literatura cinzenta, por exemplo), nas interpretações feitas na etapa de análise de conteúdo, na definição de eixos de atuação e no recorte temporal empregado, o que pode restringir as análises.

Considerando as delimitações apontadas, o caráter literário-científico da investigação elaborada e a multidimensionalidade do problema explorado, sugere-se para trabalhos futuros que os achados dessa pesquisa sejam validados para qualificar sua consistência, que sejam avaliadas perspectivas obtidas por outras fontes de informação além de artigos científicos e a comprovação da solidez dos resultados no futuro, expandindo a temporalidade desse estudo.



## REFERÊNCIAS

- AHENKAN, A.; BOON, E.; NORDJO, E.; AKALIBEY, S. Advancing the transition to circular economy in ghana prospects and challenges. **Environmental Development**, v. 55, 2025.
- ANGULO, M. G.; BATISTA, M. T.; CAICEDO, M. I. G. Advances and Challenges of a Circular Economy (CE) in Agriculture in Ibero-America: A Bibliometric Perspective. **Sustainability**, v. 16(24), 11266, 2024.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of informetrics**, v. 11 (4), p. 959–975, 2017.
- AWASTHI, M. K.; SINDHU, R.; SIROHI, R.; KUMAR, V.; AHLUWALIA, V.; BINOD, P.; JUNEJA, A.; KUMAR, D.; YAN, B.; SARSAIYA, S.; ZHANG, Z.; PANDEY, A.; TAHERZADEH, M. J. Agricultural waste biorefinery development towards circular bioeconomy. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 158, 2022.
- BARDIN, L. Análise de conteúdo. Lisboa: Edições 70, 2006.
- BARROS, M. V.; SALVADOR, R.; DE FRANCISCO, A. C.; PIEKARSKI, C. M. Mapping of research lines on circular economy practices in agriculture: From waste to energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 131, 2020.
- BAKAN, B.; BERNET, N.; BOUCHEZ, T.; BOUTROU, R.; CHOUBERT, J.-M.; DABERT, P.; DUQUENNOI, C.; FERRARO, V.; GARCÍA-BERNET, D.; GILLOT, S.; MERY, J.; RÉMOND, C.; STEYER, J.-P.; TRABLY, E.; TREMIER, A. Circular Economy Applied to Organic Residues and Wastewater: Research Challenges. **Waste and Biomass Valorization**, v. 13, p. 1267-1276, 2022.
- BJORNLUND, H.; VAN ROOYEN, A.; PITTOCK, J.; BJORNLUND, V. Research and development needs in agricultural water management to achieve sustainable development goals. **Irrigation and Drainage**, v. 72, 2023.
- BRASIL. Decreto nº 12.082, de 27 de junho de 2024. Institui a Estratégia Nacional de Economia Circular. Brasília, DF: Presidência da República, 2024. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2023-2026/2024/decreto/D12082.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/D12082.htm). Acesso em: 15 ago. 2025.
- CAVALIERI, A.; REIS, J.; AMORIM, M. Circular Economy and Internet of Things: Mapping Science of Case Studies in Manufacturing Industry. **Sustainability**, v. 13 (6), 2021.
- CERQUEUS, A.; DELORME, X. Evaluating the scalability of reconfigurable manufacturing systems at the design phase. **International Journal of Production Research**, v. 61(23), p. 8080-8093, 2023.
- CHAUSSON, A.; SMITH, A.; REGER, R. Z.-Z.; O'CALLAGHAN, B.; CLEMENT, Y. M.; ZAPATA, F.; SEDDON, N. Harnessing naturebased solutions for economic recovery a systematic review. **Plos Climate**, v. 3, 2024.

CHEN, C.-F.; FENG, K.-L.; MA, H.-W. Uncover the interdependent environmental impacts associated with the water-energy-food nexus under resource management strategies. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 160, 2020.

CHOJNACKA, K.; WITEK-KROWIAK, A.; MOUSTAKAS, K.; SKRZYPCKA, D.; MIKULA, K.; LOIZIDOU, M. A transition from conventional irrigation to fertigation with reclaimed wastewater prospects and challenges. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 130, 2020.

CLIMATE WATCH. Data Explorer. 2025. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/data-explorer/historical-emissions?historical-emissions-data-sources=climate-watch&historical-emissions-gases=all-ghg&historical-emissions-regions>All%20Selected&historical-emissions-sectors=total-including-lucf%2Ctotal-including-lucf&page=1>. Acesso em: 01 nov. 2025.

CRAPARO, G.; MONTERO, E. I.; PEÑALVER, J. F. S. Trends in the circular economy applied to the agricultural sector in the framework of the SDGs. **Environment, Development and Sustainability**, v. 26, p. 26699-26729, 2023.

DE PILLA JR., P. J.; PIMENTA, M. L.; DE OLIVEIRA, B. G. A framework for product development based on recycled plastic from pesticide packaging a study of short supply chains from the perspective of circular economy. **Cleaner Production Letters**, v. 7, 2024.

DEMIR, E.; ALP, E. A framework for assessing the circular economy potential in the water and agriculture sectors in türkiye through the waterenergyfoodecosystem nexus. **Sustainable Production and Consumption**, v. 54, 2025.

DÍAZ, L.; SEÑORANS, S.; GONZÁLEZ, L.A.; ESCALANTE, D.J. Assessment of the energy potential of agricultural residues in the Canary Islands: Promoting circular economy through bioenergy production. **Journal of Cleaner Production**, v. 437, 2024.

DOBERMANN, A.; BRUULSEMA, T.; CAKMAK, I.; GERARD, B.; MAJUMDAR, K.; MCLAUGHLIN, M.; REIDSMA, P.; VANLAUWE, B.; WOLLENBERG, L.; ZHANG, F.; ZHANG, X. Responsible plant nutrition: A new paradigm to support food system transformation. **Global Food Security-Agriculture Policy Economics and Environment**, v. 33, 2022.

DUQUE-ACEVEDO, M.; BELMONTE-UREÑA, L. J.; CORTÉS-GARCÍA, F. J.; CAMACHO-FERRE, F. Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses. **Global Ecology and Conservation**, v. 22, 2020a.

DUQUE-ACEVEDO, M.; BELMONTE-UREÑA, L. J.; PLAZA-ÚBEDA, J. A.; CAMACHO-FERRE, F. The Management of Agricultural Waste Biomass in the Framework of Circular Economy and Bioeconomy: An Opportunity for Greenhouse Agriculture in Southeast Spain. **Agronomy**, v. 10(4), 2020b.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition**. 2013. Disponível em:

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>. Acesso em: 15 ago. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Eliminate waste and pollution.** 2022a. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/eliminate-waste-and-pollution>. Acesso em: 15 ago. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circular economy principles: Regenerate nature.** 2022b. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/regenerate-nature>. Acesso em: 15 ago. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circulate products and materials.** 2022c. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circulate-products-and-materials>. Acesso em: 15 ago. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The technical cycle of the butterfly diagram.** 2022d. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/articles/the-technical-cycle-of-the-butterfly-diagram>. Acesso em: 15 ago. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circular economy principles.** 2024. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-principles>. Acesso em: 15 ago. 2025.

ELTON, S.; DIPIERI, M.; COLE, D. Reconsidering the wholesale food market: The Ontario food terminal and the role of public infrastructure in a corporate consolidated food system. **Journal of Agriculture Food Systems and Community Development**, v. 14, 2025.

ESPOSITO, B.; SESSA, M. R.; SICA, D.; MALANDRINO, O. Towards Circular Economy in the Agri-Food Sector. A Systematic Literature Review. **Sustainability**, v. 12, n. 18, 2020.

FERNANDEZ-MENA, H.; MACDONALD, G. K.; PELLERIN, S.; NESME, T. Co-benefits and trade-offs from agro-food system redesign for circularity a case study with the fan agent-based model. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, 2020.

FILHO, J. J. de S.; GASPAR, P. D.; DO PAÇO, A.; MARCELINO, S. M. Governance-centred industrial symbiosis for circular economy transitions: A rural forest biomass hub framework proposal. **Sustainability**, v. 17, 2025.

FIT, C. G.; CLAUSER, N. M.; FELISSIA, F. E.; AREA, M. C. Biorefinery design from agroindustrial by-products and its scaling-up analysis. **Bioresource Technology Reports**, v. 31, 2025.

FRIEL, S.; DANGOUR, A.; GARNETT, T.; LOCK, K.; CHALABI, Z.; ROBERTS, I.; BUTLER, A.; BUTLER, C. D.; WAAGE, J.; MCMICHAEL, A. J.; HAINES, A. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: food and agriculture. **Lancet**, v. 374, n. 9706, 2009.

GARRETT, R. D.; RYSCHAWY, J.; BELL, L. W.; CORTNER, O.; FERREIRA, J.; GARIK, A. V. N.; GIL, J. D. B.; KLERKX, L.; MORAINE, M.; PETERSON, C. A.; DOS REIS, J. C.;

VALENTIM, J. F. Drivers of decoupling and recoupling of crop and livestock systems at farm and territorial scales. **Ecology and Society**, v. 25, 2020.

GAVA, O.; BARTOLINI, F.; VENTURI, F.; BRUNORI, G.; PARDOSSI, A. Improving policy evidence base for agricultural sustainability and food security a content analysis of life cycle assessment research. **Sustainability**, v. 12, 2020.

HÄRRI, A.; LEVÄNEN, J.; KOISTINEN, K. Marginalized small-scale farmers as actors in just circular-economy transitions: exploring opportunities to circulate crop residue as raw material in India. **Sustainability**, v. 12, 2020.

HOLDEN, N. M.; NEILL, A. M.; STOUT, J. C.; O'BRIEN, D; MORRIS, M. A. Biocircularity: a Framework to Define Sustainable, Circular Bioeconomy. **Circular Economy and Sustainability**, v. 3, p. 77-91, 2023.

HOOF, B. V.; SOLANO, A.; RIAÑO, J.; MENDEZ, C.; MEDAGLIA, A. L. Decision-making for circular economy implementation in agri-food systems: A transdisciplinary case study of cacao in Colombia. **Journal of Cleaner Production**, v. 434, 2024.

JOHNSTON, J.; BAKER, L. Eating outside the box: foodshare's good food box and the challenge of scale. **Agriculture and Human Values**, v. 22, p. 313-325, 2005.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.

KOREN, Y.; WANG, W.; GU, X. Value creation through design for scalability of reconfigurable manufacturing systems. **International Journal of Production Research**, v. 55(5), p. 1227-1242, 2017.

KRISTIA, K.; RABBI, M. F. Exploring the Synergy of Renewable Energy in the Circular Economy Framework: A Bibliometric Study. **Sustainability**, v. 15 (17), 2023.

KROSS, A.; KAUR, G.; JAEGER, J. A. G. A geospatial framework for the assessment and monitoring of environmental impacts of agriculture. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 97, 2022.

KUSUMOWARDANI, N.; TJAHHONO, B.; LAZELL, J.; BEK, D.; THEODORAKOPOULOS, N.; ANDRIKOPoulos, P.; PRIADI, C. R. A circular capability framework to address food waste and losses in the agri-food supply chain: The antecedents, principles and outcomes of circular economy. **Journal of Business Research**, v. 142, p. 17-31, 2022.

LUMIVERO. NVivo. 2025. Disponível em: <https://lumivero.com/products/nvivo/>. Acesso em: 12 set. 2025.

MANISHA, M.; VERMA, K.; RAMESH, N.; ANIRUDHA, T. P.; SANTRUPT, R. M.; CHANAKYA, H. N.; PATIL, B.; KUMAR, M. M. S.; RAO, L. Cost-benefit analysis of large-scale recycling of treated wastewater for indirect groundwater recharge in a semiarid region. **Groundwater For Sustainable Development**, v. 26, 2024.

MATARAZZO, A.; COSTANZO, M. R.; BELTRANI, T.; INGENITO, S.; ZARBÀ, C.; SCUDERI, A. Measuring the state of advancement of circular economy good practices in agri-food sector. **Procedia Environmental Science, Engineering and Management**, v. 11, 2024.

MEENA, R. A. A.; GHOSH, A.; SATHISHKUMAR, P.; JAYABALAN, R. Scaling up of food waste valorization market outlooks: Key concerns. **Food Waste to Valuable Resources: Applications and Management**, p. 401-416, 2020.

MEHMOOD, A.; AHMED, S.; VIZA, E.; BOGUSH, A.; AYYUB R. M. Drivers and barriers towards circular economy in agri-food supply chain: A review. **Business Strategy and Development**, v. 4, p. 465-481, 2021.

MOHER, D., LIBERATI, A., TETZLAFF, J., ALTMAN, D. G., & PRISMA GROUP. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **PLoS medicine**, v. 6, n. 7, 2009.

MOHER, D., LIBERATI, A., TETZLAFF, J., ALTMAN, D. G., & PRISMA GROUP. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **International Journal of Surgery**, v. 8, n. 5, p. 336-341, 2010.

MOORE, M.; RIDDELL, D.; VOCISANO, D. Scaling out, scaling up, scaling deep: strategies of non-profits in advancing systemic social innovation. **The Journal of Corporate Citizenship**, n. 58, p. 67-84, 2015.

MORAL-MUÑOZ, J. A.; HERRERA-VIEDMA, E.; SANTISTEBAN-ESPEJO, A.; COBO, M. J. Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. **El profesional de la información**, v. 29, n. 1, 2020.

MORSELETTO, P. Targets for a circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 153, 2020.

MURINDANGABO, Y. T., KOPECKÝ, M.; KONVALINA, P. Adoption of Conservation Agriculture in Rwanda: A Case Study of Gicumbi District Region. **Agronomy**, v. 11, n. 9, 2021.

NAIR, L. G.; AGRAWAL, K.; VERMA, P. An overview of sustainable approaches for bioenergy production from agro-industrial wastes. **Energy Nexus**, v. 6, 2022.

NAKAJIMA, N. A Vision of Industrial Ecology: State-of-the-Art Practices for a Circular and Service-Based Economy. **Bulletin of Science, Technology & Society**, v. 20, n. 1, p. 54-69, 2000.

NTAWUHIGANAYO, E.; NIJMAN-ROSS, E.; GEME, T.; NEGESA, D.; NAHIMANA, S. Assessing the adoption of regenerative agricultural practices in eastern africa. **Frontiers In Sustainability**, v. 4, 2023.

NYREE, M. **An Introduction to Qualitative Data Analysis for NVivo.** 20--. Disponível em: [https://services.anu.edu.au/files/development\\_opportunity/Qualitative\\_Analysis\\_Presentation.pdf](https://services.anu.edu.au/files/development_opportunity/Qualitative_Analysis_Presentation.pdf). Acesso em: 12 set. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. **Growing More Food – Using Less Water.** 5º Fórum Mundial da Água, Turquia, 2009. Disponível em: [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/newsroom/docs/water\\_facts.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/water_facts.pdf). Acesso em: 17 set. 2025.

PANGHAL, A.; SINDHU, S.; DAHIYA, S.; DAHIYA, B.; MOR, R. S. Benchmarking the interactions among challenges for blockchain technology adoption a circular economy perspective. **International Journal of Mathematical Engineering and Management Sciences**, v. 7, 2022.

POMONI, D. I.; KOUKOU, M. K.; VRACHOPOULOS, M. GR.; VASILIADIS, L. Circular economy: A multilevel approach for natural resources and wastes under an agri-food perspective. **Water-Energy Nexus**, v. 7, 2024.

QUIRK, S.; GIBSON, C.; COOK, N. More-than-transactional circular economies: the café-urban farm nexus and emergent regional food waste circuits. **Local Environment**, v. 29, 2024.

RASTOIN, J.-L. Les systèmes alimentaires territorialisés: quelle contribution à la sécurité alimentaire? Introduction. In: **Séance de l'Académie d'Agriculture de France – Les systèmes alimentaires territorialisés: quelle contribution à la sécurité alimentaire**, 2014, Paris. [Comunicação oral]. Paris, jan. 2014. Disponível em: <https://hal.science/hal-01506345>. Acesso em: 26 out. 2025.

SGAMBARO, L.; KAIPAINEN; J.; CHIARONI, D. Scaling up circular ecosystems through product design practices: An integrative framework. **Computers & Industrial Engineering**, v. 204, 2025.

SHAWKY, E.; GIBBONS, S.; SELIM, D. A. Biosourcing from byproducts: A comprehensive review of bioactive molecules in agrifood waste (AFW) streams for valorization and sustainable applications. **Bioresource Technology**, v. 431, 2025.

SIEGEL, A.; VAN LEEUWEN, E. Success factors for scaling urban circular businesses in the food sector. **Regional Science Policy and Practice**, v. 17, 2025.

STEED, C. A.; MERCUR, B. S.; MANGAROO-PILLAY, M. A sustainable decarbonisation roadmap for South African priority agroprocessing subsectors. **Energy For Sustainable Development**, v. 88, 2025.

TARON, A.; MAJUMDER, A.; BODACH, S.; AGBEFU, D. Public-private partnerships for the Circular Bio-economy in the Global South: Lessons learned. **Resource Recovery and Reuse**, v. 2023, 2023.

VAN BUREN, N.; DEMMERS, M.; VAN DER HEIJDEN, R.; WITLOX, F. Towards a Circular Economy: The Role of Dutch Logistics Industries and Governments. **Sustainability**, v. 8, n. 7, 2016.

VELASCO-MUÑOZ, J. F.; MANDOZA, J. M. F.; AZNAR-SÁNCHEZ, J. A.; GALLEGOSCHMID, A. Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 170, 2021.

YAKOVLEVA, N.; CHIWONA, A. G.; MANNING, D. A. C.; HEIDRICH, O. Circular economy and six approaches to improve potassium life cycle for global crop production. **Resources Policy**, v. 74, 2021.