

## Transição para modelos circulares: sistemas mistos de produção com enfoque na Tipologia ReSOLVE e Agricultura 4.0

### *Transition to circular models: mixed production systems with a focus on the ReSOLVE Framework and Agriculture 4.0*

Adelice Minetto Sznitowski<sup>1</sup>, Adriane Angélica Farias Santos Lopes de Queiroz<sup>2</sup>

**RESUMO:** Na produção de alimentos predomina o modelo linear de operações recurso - produto - resíduo, no entanto, a transição para modelo circular constitui alternativa para salvaguardar os recursos produtivos. O objetivo deste artigo foi identificar práticas de economia circular, as quais na produção de alimentos podem ser definidas como agricultura circular (AC), em um sistema de produção mista (lavoura e pecuária). Para tanto, utilizou a tipologia ReSOLVE - Regenerar, Compartilhar, Otimizar, Ciclar, Virtualizar e Trocar proposta pela Ellen MacArthur Foundation, complementada pela proposição de Varella (2022) relacionada a Agricultura 4.0. A coleta de dados envolveu observações a campo em uma propriedade rural, entrevistas com seus gestores e consulta a dados documentais. Constatou-se a presença das práticas de AC considerando as seis dimensões da tipologia ReSOLVE, as quais são favorecidas pela Agricultura 4.0, e também pelo sistema de produção que integra o componente agrícola e pecuário, ou seja, a agricultura 4.0 e a produção mista potencializa a transição para modelos circulares.

**Palavras-chave:** Agricultura circular; Produção integrada; Sustentabilidade

**ABSTRACT:** In food production, the linear model of resource-product-residue operations predominates; however, transitioning to a circular model represents an alternative for safeguarding productive resources. The aim of this article was to identify circular economy practices, which in food production can be defined as circular agriculture (CA), within a mixed production system (crop and livestock). To this end, the ReSOLVE typology - Regenerate, Share, Optimize, Cycle, Virtualize, and Exchange - proposed by the Ellen MacArthur Foundation was employed, complemented by Varella's proposition (2022) related to Agriculture 4.0. Data collection involved field observations on a rural property, interviews with its managers, and consultation of documentary data. The presence of CA practices was observed, considering the six dimensions of the ReSOLVE typology, which are facilitated by Agriculture 4.0 and by the production system that integrates the agricultural and livestock components. Thus, Agriculture 4.0 and mixed production enhance the transition to circular models.

**Keywords:** Circular agriculture; Integrated production; Sustainability.

**Autor correspondente:** Adelice Minetto Sznitowski

E-mail: adelice.minetto@unemat.br

Recebido em: 2024-11-09

Aceito em: 2025-12-03

<sup>1</sup> Doutora em Administração pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Professora Permanente do Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola (PPGASP) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Tangará da Serra (MT), Brasil.

<sup>2</sup> Doutora em Engenharia Naval e Oceânica pela Universidade de São Paulo (USP). Professora Permanente do Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade (PPGEES) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande (MS), Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Na produção de alimentos, o modelo linear recurso-produto-resíduo é predominante. Porém, a transição para modelos circulares é reconhecida como alternativa para preservar recursos e controlar a poluição ambiental (Bibas *et al.*, 2021). Buscar eficiência na utilização de recursos para reduzir impactos ambientais encontra respaldo na Economia Circular (EC).

O conceito de EC surgiu na produção industrial, porém, é necessário discutir no setor agroalimentar. O setor agrícola contribui com 18% das emissões globais de gases com efeito de estufa (GEE) e como alternativa para reduzir os GEEs é adotar práticas circulares (Zadgaonkar; Darwai; Mandavgane, 2022). Esse setor atualmente opera de forma linear, distanciando-se dos circulares (MacArthur *et al.*, 2013). Aznar-Sánchez *et al.* (2020) destacam que os sistemas intensivos de produção são eficientes e capazes de garantir o abastecimento nas próximas décadas, mas não estão isentos de limitações.

Iniciativas para migrar de sistemas lineares “insustentáveis” na produção de grãos – vistas nos EUA, China, Brasil, Argentina, Canadá, Rússia, Austrália e Europa – para sistemas circulares e sustentáveis, constituem alternativa para enfrentar o duplo desafio: esgotamento de recursos e degradação ambiental frente a demanda global por alimentos (Basso *et al.*, 2021).

Para Velasco-Muñoz *et al.* (2021) a EC é uma estratégia para apoiar a agricultura sustentável e defendem a necessidade de adaptar o referencial da EC. Dessa forma, propõem uma definição para o campo da agricultura como sendo: “o conjunto de atividades destinadas não apenas a garantir a sustentabilidade econômica, ambiental e social na agricultura por meio de práticas que visam o uso eficiente e eficaz dos recursos em todas as fases da cadeia de valor, mas também garantir a regeneração e a biodiversidade dos agro ecossistemas e dos ecossistemas circundantes” (2021, p. 4).

Diante do exposto, nota-se que agricultura circular (AC) surge como alternativa para enfrentar os desafios da agricultura moderna em diversos países, promovendo um desenvolvimento agrícola sustentável (Zhu *et al.*, 2019). A transição gradual de uma abordagem linear para uma circular representa estratégia promissora em busca da sustentabilidade no setor agrícola (Yue *et al.*, 2022).

Embora a EC seja amplamente discutida em contextos industriais, na agricultura carece de maior atenção (Macarthur *et al.*, 2013). A ideia de economia circular na agricultura ganha importância após 2015 (Ali; Ali, 2023), por ser recente, demanda estudos e um arcabouço teórico prático para favorecer a transição das economias lineares para a EC (Velasco-Muñoz *et al.*, 2021). A escassez de relatos e exemplos concretos da prática circular na agricultura limita a compreensão e implementação desse conceito no contexto citado (Zhu *et al.*, 2019).

É crucial repensar o desenvolvimento agrícola, considerando que o setor não apenas é responsável pela produção de alimentos, mas também um grande gerador de resíduos e gases de efeito estufa. Uma abordagem promissora é a adoção de práticas agrícolas circulares (Atinkut, 2020; Yue *et al.*, 2022), que se alinham com os princípios da EC ao aprimorar a eficiência no uso de recursos, visando equilíbrio entre economia, meio ambiente e sociedade (Yue *et al.*, 2022).

Um dos sistemas de produção agrícola capazes de otimizar o uso de recursos é a produção integrada (ou mista) que contribui para a redução no uso de insumos externos como fertilizantes e energia (Trendov, 2017). Além dos ganhos econômicos, beneficia o meio ambiente pela reutilização de recursos e diminuição de externalidades negativas (Hang *et al.*, 2021). Esse modelo segue os princípios da EC, reciclando resíduos e contribuindo para a agricultura circular (Hilimire, 2011; Zhu *et al.*, 2019). Os sistemas produtivos que integram pecuária e agricultura são complementares e conduzem a um sistema agrícola sustentável pelo fato de os resíduos de um sistema serem utilizados como recurso para o outro (Zadgaonkar; Darwai; Mandavgane, 2022). Nesse processo produtivo integrado, ocorre a reciclagem de matéria orgânica e nutrientes das fezes do gado criam um ciclo fechado que favorece a fertilidade do solo (Lemaire *et al.*, 2014). Além disso, permite múltiplo uso das áreas agrícolas é a base para o aumento da eficiência do uso da terra (Schoof *et al.*, 2021).

A agricultura integrada à pecuária é uma alternativa sustentável por promover o desenvolvimento econômico, melhorar a segurança alimentar, aumentar a produtividade e diversificar a produção agrícola (Sone *et al.*, 2019) e ganha interesse globalmente por reduzir os problemas ambientais e viabilizar a produção sustentável (Ryschawy *et al.*, 2014).

No entanto, diferente da agricultura tradicional, a AC exige altas tecnologias e maior volume de investimentos de capital em seu estágio inicial, bem como o apoio do governo para promover a infraestrutura e fornecer suporte financeiro e técnico para o desenvolvimento da AC (Li *et al.*, 2021).

Considerando a escassez de estudos empíricos sobre práticas circulares na agricultura, e a necessidade de repensar os modelos de produção agrícola devido ao impacto ambiental negativo que eles produzem, esta pesquisa tem como motivação analisar um sistema de misto de produção (grãos e pecuária) quanto da tipologia ReSOLVE da Ellen MacArthur Foundation (EMF, 2015), adaptado por Varella (2022). Isso porque o sistema de produção misto segue princípios da EC ao contribuir na reciclagem de resíduos e assim, contribui para a AC. Em face do exposto, tem-se como objetivo geral identificar as práticas da agricultura circular no sistema de produção que integra lavoura e pecuária por meio da tipologia ReSOLVE adaptada. A pesquisa, assume como conjecturas: a) existem práticas adotadas de EC consideradas pela tipologia ReSOLVE adaptada da EMF (2015); b) a Agricultura 4.0 contribui para as práticas de EC; e c) o sistema de produção mista (grãos e bovinos) favorece as práticas de AC.

A tipologia ReSOLVE proposta pela EMF (2015) agrupa em seis dimensões algumas práticas para a transição da economia linear para a circular, sendo: regenerar, compartilhar, otimizar, ciclar, virtualizar e trocar, que formam o acrônimo com suas letras iniciais.

Importante ainda destacar que Agricultura 4.0 é vista como possibilidade para superar os desafios globais relacionados com a escassez de recursos, as alterações climáticas e a segurança alimentar, assim, terá importante papel na transformação do setor agroalimentar e na definição dos futuros modelos de produção agrícola (Beluhova-Uzunova; Dunchev, 2022). A agroindústria 4.0 possuem a capacidade de preparar o caminho para os princípios da economia circular (Jabbour *et al.*, 2018).

A pertinência deste estudo se dá diante da perspectiva trazida pela EC frente a exigência pela produção de alimentos de forma sustentável, a qual será cada vez mais demandada no contexto brasileiro diante da sua representatividade como maior fornecedor mundial de alimentos. Destaca-se também o lócus para realização do estudo: o estado de Mato Grosso é líder na produção brasileira de grãos, responsável por 28% da produção de soja e 9,64% da produção mundial desse grão; 36% de milho e com participação mundial 3,5%. Na pecuária representa 14,30% do rebanho nacional e 3,63% do rebanho mundial. Esses números tornam o estado com maior participação (56,2%) no Produto Interno Bruto (PIB) do País, conforme dados do Instituto Matogrossense de Economia Agropecuária (IMEA, 2022). Essa representatividade instigou a abordar a perspectiva da AC em um sistema de produção misto quanto à circularidade dos recursos produtivos.

## 2 MATERIAIS E METÓDOS

Nesta pesquisa, foram utilizados dados qualitativos, os quais analisados de forma interpretativa (Vieira, 2004; Collis; Hussey, 2005) permitiram relacionar o contexto empírico com os pressupostos teóricos das seis dimensões da tipologia ReSOLVE adaptada em um sistema de produção agrícola integrado. O objetivo foi explorar e analisar o fenômeno relativo a circularidade no uso dos recursos produtivos na agricultura, abordando um tema pouco explorado dentro do escopo aqui definido (Yin, 2010).

A fim de compreender o fenômeno da circularidade dos recursos, foi selecionada uma propriedade rural que atendesse o critério de ter um sistema de produção que integrasse agricultura e pecuária (produção mista). Sendo assim, a pesquisa ocorreu em uma propriedade rural localizada em Campo Novo do Parecis-MT que iniciou suas atividades em 1989 e atualmente produz soja, milho, bovinos, silvicultura e faz armazenagem de grãos. Desde 2014 essa propriedade adota produção mista e declara publicamente seu compromisso com práticas sustentáveis e o uso de tecnologias para aumentar a produtividade e a sustentabilidade. Além dessas qualificações, é reconhecida tanto no Estado de Mato Grosso quanto nacionalmente, como referência em seu setor de atuação, como evidenciado pelos prêmios e certificados que recebeu pelas suas práticas.

A coleta de dados, sua organização e o *framework* utilizado no roteiro semiestruturado de entrevista, baseados na tipologia ReSOLVE adaptada - conforme o escopo proposto pelo EMF (2015) e incrementado com novas variáveis indicadas por Varella (2022) quanto a contribuição da Agricultura 4.0. Desse modo, considerou-se as seis dimensões: regenerar, compartilhar, otimizar, ciclar, virtualizar e trocar, as quais envolvem práticas para fazer a transição da economia linear para a economia circular. Foram buscadas informações no *website* da empresa, observações *in loco* que complementaram os dados das entrevistas semiestruturadas, bem como caracterizaram o local quanto à sua história e atividades produtivas. As dimensões e variáveis que embasaram a pesquisa são apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1.** Escopo conceitual adotado na pesquisa

Dimensões	Variáveis
Regenerar ( <i>Regenerate</i> )	Adotar energia e materiais renováveis, restaurar a saúde dos ecossistemas e reintegrar recursos biológicos à biosfera (EMF, 2015).
	Regenerar o solo: controle e preparo para preservar o solo, gerenciar o uso de produtos para manter sua capacidade biológica e nutricional (Varella, 2022).
	Recuperar nutrientes: aproveitar nutrientes provenientes do plantio, como águas residuais e resíduos de colheita (Varella, 2022).
	Utilizar energias renováveis, como solar, eólica e aproveitamento de resíduos (Varella, 2022).
	Reutilizar recursos finitos: controlar o uso da água para irrigação e reutilizá-la nas atividades da fazenda (Varella, 2022).
Compartilhar ( <i>Share</i> )	Maximizar a utilização dos produtos, prolongando sua vida útil por meio de manutenção, reparo e <i>design</i> durável, além de compartilhá-los entre diferentes usuários (EMF, 2015).
	Compartilhar equipamentos de TI: utilizar provedores de Nuvem para compartilhar equipamentos, reduzindo o consumo de energia e o descarte prematuro de dispositivos (Varella, 2022).
	Compartilhar equipamentos: compartilhar equipamentos entre fazendas para diminuir os custos de investimento e manutenção (Varella, 2022).
	Compartilhar resíduos: aproveitar resíduos agrícolas compartilhados entre fazendas, como adubação do solo ou alimento para o gado (Varella, 2022).
Otimizar ( <i>Optimize</i> )	Aumentar o desempenho e a eficiência do produto; eliminar o desperdício na produção e na cadeia de suprimentos; aproveitar <i>Big Data</i> , automação, sensoriamento remoto (EMF, 2015).
	Otimizar uso de dados: uso de tecnologias de coleta remota de dados e ferramentas de gestão e do ecossistema de <i>Big Data</i> para a implantação da cultura de decisão baseada em dados ( <i>data-drive decision</i> ) (Varella, 2022).
	Automatizar: adotar sistemas automáticos para controle de processos na fazenda, por exemplo irrigação, fertirrigação, controle de pragas e gestão de maquinários (Varella, 2022).
	Otimizar o uso de pesticidas: controlar o uso de pesticidas na lavoura para o combate às pragas (Varella, 2022).
	Otimizar o uso da água: controlar o uso de água e buscar fontes alternativas, como água residual e de chuvas (Varella, 2022).
	Otimizar uso de energia: controlar o uso de energia e buscar fontes alternativas e renováveis (Varella, 2022).
Ciclar ( <i>Loop</i> )	Remanufaturar produtos ou componentes; reciclar materiais; utilizar resíduos orgânicos; melhorar a eficiência dos produtos e utilizar novas tecnologias como o <i>Big Data</i> (EMF, 2015);
	Remanufaturar (ex. peças dos equipamentos de processos) (Varella, 2022)
	Realizar cadeia reversa: realizar avaliação de possibilidade de devolver produto para outra etapa de produção (Varella, 2022)
	Reciclar: extrair componentes bioquímicos de resíduos e reaproveitar na fazenda (Varella, 2022).
Virtualizar ( <i>Virtualize</i> )	Entregar utilidade de forma virtual, por meio de desmaterialização direta e indireta, como compras online e escritórios virtuais (EMF, 2015);
	Virtualizar informações, disponibilizando-as em sistemas gráficos para facilitar a interpretação, gestão estratégica e operacional dos agricultores, economizando recursos como papel e insumos de impressão (Varella, 2022)
	Utilizar serviços remotos, adotando tecnologias de acesso remoto para controle e gestão de sistemas da fazenda por meio de dispositivos móveis conectados à internet (Varella, 2022).
Troca ( <i>Exchange</i> )	Substituir materiais antigos e não renováveis por materiais novos, como motores elétricos, e aplicar novas tecnologias e produtos/serviços, como o transporte multimodal (EMF, 2015);
	Adotar tecnologias de IoT para coleta de dados na plantação e automação de processos (Varella, 2022);
	Utilizar tecnologias de Nuvem para reduzir custos operacionais e de manutenção, além de disponibilizar dados aos agricultores em dispositivos móveis (Varella, 2022);
	Aplicar tecnologias do ecossistema de Big Data, como IA, <i>Machine Learning</i> e <i>Deep Learning</i> , para implantação de decisões baseadas em dados nas fazendas (Varella, 2022);
	Incorporar tecnologias robóticas, drones e equipamentos autônomos para obter benefícios econômicos, ambientais e sociais (Varella, 2022).

Fonte: Adaptado do EMF (2015) e Varella (2022).

As entrevistas semiestruturadas foram realizadas com três gerentes da propriedade rural entre os dias 23 e 25 de julho de 2022 pelo *Google Meet*. O tempo médio de duração foi entre 40min a 60min. Posteriormente, as entrevistas foram transcritas na íntegra e extraídos os dados relevantes ao objetivo do estudo. Os três gestores foram: um da pecuária (entrevistado 1- E1), outro do setor agrícola (E2), outro de processo e do armazém (E3). O critério de escolha foi por estarem à frente das duas principais atividades produtivas (E1 e E2) e de processos e armazém (E3), o qual tem além do conhecimento de todos os setores, fornece suporte às atividades produtivas.

Após a transcrição das entrevistas, os dados foram analisados com base na técnica de análise de conteúdo (Bardin, 2004), sendo os elementos empíricos posteriormente organizados e discutidos à luz da abordagem fornecida por EMF (2015) e complementado por Varella (2022) quanto a as seis dimensões da tipologia ReSOLVE para avançar na EC.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 ESTRUTURA RESOLVE: ÁREAS DE AÇÃO PARA A ECONOMIA CIRCULAR

A propriedade rural analisada é familiar e iniciou em 1989 com a produção de grãos, tendo em julho de 2022 uma área total de 9.500 ha para o cultivo de soja e milho. Contava com 85 funcionários em seis setores: agrícola, armazém, financeiro, pecuária, suprimentos e gestão de pessoas. A atividade pecuária envolve a cria e engorda de bovinos, com capacidade anual de 6 mil cabeças. Para aumentar a produtividade, adotam práticas como pastejo rotacionado, integração lavoura-pecuária (ILP) e pecuária-floresta (IPF). A integração com a agricultura permite o uso de pasto como segunda safra durante a seca. Possuem sistema de rastreabilidade bovina e cultivam eucaliptos para lenha, diversificar a renda e conservar áreas arenosas. O armazém de grãos tem capacidade para 500 mil sacas e os resíduos são usados na ração.

Na sequência são apresentados os dados sobre as práticas de economia circular na propriedade rural a partir da estrutura ReSOLVE: Regenerar, Compartilhar, Otimizar, Ciclar, Virtualizar e Trocar, considerando o proposto pelo EMF (2015) e incrementadas com novas variáveis por Varella (2022) quanto a contribuição da Agricultura 4.0.

##### 3.1.1 Regenerar

Em Regenerar, adotam práticas como a separação de lixo reciclável e a compostagem de resíduos orgânicos. Os entrevistados E1 e E2 citaram que todo o lixo reciclável é doado a uma cooperativa de catadores. Além disso, realizam a logística reversa de materiais específicos, como embalagens de defensivos. Os pallets utilizados na recepção de insumos são vendidos ou trocados por produtos com outras empresas (E1). O ferro velho e os sacos plásticos são vendidos, enquanto óleos usados, baterias, pneus e materiais perfurocortantes são recolhidos por empresas especializadas (E2). Além disso,

fazem uso de energia limpa; produzem energia solar que atende 70% do consumo, como relatado pelo E3 responsável pelo setor armazém.

Quanto as práticas regenerativas advindas da Agricultura 4.0 citadas pelo E1 e E2, se relacionam a: i) manter e restaurar a saúde do solo: revolvem o mínimo possível o solo, cultivam plantas de cobertura que, por terem raízes profundas ajudam a descompactar o solo e permite melhor absorção de nutrientes; ii) agricultura de precisão para tornar torna mais eficiente o uso dos insumos: iii) as variedades de soja plantadas são escolhidas considerando as especificidades das áreas; iv) adubação biológica que contribui para a vida no solo, bem como preservam a matéria orgânica que mantém a temperatura do solo baixa e maior umidade.

No quesito recuperar nutrientes utilizados na plantação, o E2 citou a palhada do milho que se transforma em adubo para a soja e vice-versa.

Sobre o uso de energias renováveis na propriedade rural, os entrevistados mencionaram energia solar e a intenção de implantar um biodigestor. Quanto à reutilização de recursos biológicos finitos, como a água, E3 destacou a captação de mais de 20 milhões de litros de água da chuva para lavagem de equipamentos, pulverização e irrigação de áreas da fazenda. E2 ressaltou o uso de baixa vazão de equipamentos na pulverização das lavouras, reduzindo o consumo de água para 50 litros por hectare em vez de 100.

Diante dos relatos, somadas as práticas citadas pela EMF (2015) e Varella (2022) quanto a contribuição da Agricultura 4.0 para a dimensão “Regenerar” que envolvem tratamentos com o solo, nutrientes, uso de água e energia renovável.

### 3.1.2 Compartilhar

Em Compartilhar, para a locação de serviços, o E2 mencionou o transporte terceirizado de defensivos, enquanto o E1 citou o aluguel de um barracão inflável para armazenar insumos pecuários e uma pá carregadeira. O E3 informou que os caminhões para transporte de insumos e grãos da lavoura para o armazém na fazenda são terceirizados. Quanto à aquisição de produtos remanufaturados, não é feita externamente, mas internamente entre os setores, ou seja, são repassados de um para o outro (E1, E2 e E3).

No que se refere a procedimentos de reparo, reuso e conserto dos itens, sempre que possível reformam/adaptam equipamentos do setor para o outro, bem como fazem reparos em máquinas mais antigas para mantê-las atualizadas e aptas ao funcionamento (E2).

A respeito de zelarem pela vida útil dos produtos por meio da manutenção e atualização, os entrevistados E1 e E2 mencionaram um cronograma para revisões preventivas e manutenção de máquinas e equipamentos, além da lavagem após o uso. Quanto às práticas de EC na Agricultura 4.0 referentes ao uso de serviços de Nuvem para hospedagem de serviços e dados, o E2 e E3 citaram que muitos dados são armazenados em dispositivos e aplicativos com bancos de dados e a um servidor. Sobre compartilhar equipamentos entre as fazendas, E2 e E3 mencionaram que isso não ocorre entre as propriedades, apenas internamente entre os setores.

Fazem aproveitamento de resíduos entre culturas. Foi citado pelo E1 que para ração do gado pegam bagaço de cana de açúcar, o *Dried Distillers Grains* (DDG – grãos

secos de destilaria) resíduos esses de usinas de etanol e, caroço de algodão de uma fazenda próxima.

Observou-se nessa propriedade rural a dimensão "Compartilhar" conforme EMF (2015) e Varella (2022), envolvendo a locação de serviços, reparos, reuso, prolongamento da vida útil dos produtos, serviço de Nuvem, compartilhamento interno de equipamentos e aproveitamento de resíduos de culturas, favorecidos pelo sistema de produção integrado agrícola e pecuário.

### 3.1.3 Otimizar

Em Otimizar, adotam princípios e práticas de melhoria contínua, incluindo o Programa 5s e o Ciclo PDCA (planejar, fazer, checar e agir). Anualmente, realizam/revisam o planejamento estratégico usando ferramentas de gestão como a Matriz SWOT, 5W2H e Ciclo PDCA, conforme o E3 relatou.

Sobre a redução de desperdícios nos processos, o E1 mencionou que na pecuária é feita a "leitura" dos cochos onde os animais são tratados. Esse acompanhamento permite que as sobras de ração sejam recolhidas e usadas posteriormente. No setor agrícola, o E2 informou que realizam análise de solo para evitar gastos desnecessários com adubação; controlam as perdas na colheita de soja e milho. Na oficina adotam cuidados para evitar vazamentos de produtos; no lavador de máquinas usam produtos com bom rendimento para gerar economia de água. Citou novamente os cuidados com a pulverização, feita em condições adequadas, evita perdas de produtos e melhora a eficácia, também favorecida pelo Manejo Integrado de Pragas (MIP) adotado. Adotam tecnologias para maximizar o uso de recursos, o E2 mencionou um sinal de precisão *Real-Time Kinematic* (RTK) que permite qualidade na comunicação dos dispositivos presentes nas máquinas, favorecendo a precisão nas operações realizadas e, conseqüentemente, evitando perdas. Citou como exemplo uma plantadeira que dispõe de tecnologia para evitar que a semente caia onde já foi plantado.

Referente ao nível tecnológico, os três entrevistados concordam que no processo produtivo de grãos e pecuária há alta adoção. As práticas da Agricultura 4.0 no uso de tecnologias de apoio à tomada de decisão foram citadas pelo E2, incluindo: i) o Manejo Integrado de Pragas (MIP) para aplicar defensivos somente onde há infestação, com informações inseridas no mapa do pulverizador para aplicações precisas; ii) levantamento pluviométrico para mapear locais e índices de chuva e pulverizar em condições adequadas; iii) mapa de plantio e colheita, com planos de implantar avaliação de população de plantas, favorecendo o uso eficiente da terra e insumos; iv) máquinas e equipamentos que fornecem informações sobre plantio e colheita, gerando mapas que mostram as áreas e sua produção, permitindo tratamento/correção precisa do solo. Em áreas que demandam matéria orgânica, em vez de química, utilizam-nas para a pecuária, pois a pastagem aumenta a matéria orgânica.

Ainda foi citado pelo E3 o uso do *Business Intelligence* (BI) o qual apresenta dados dos diversos setores da propriedade rural e contribui para a tomada de decisões a partir das informações geradas. Quanto ao uso de tecnologias para automação da fazenda, o E3



mencionou a sistema de termometria e areação utilizados no armazém. Essa automatização gera economia de energia e melhor qualidade dos grãos armazenados.

Na pecuária, o E1 informou que automatizaram a distribuição de trato nos cochos dos animais no confinamento. Foram colocadas *tags* com microchip no início do abastecimento e, ao passar o vagão tratador, faz-se a leitura automática e informa-se ao sistema a quantidade de ração fornecida. Isso evita anotações manuais e lançamentos posteriores. Para otimizar e controlar o uso de pesticidas, conforme mencionado anteriormente pelo E2, o MIP identifica o local de infestação de pragas e essa informação é inserida no mapa do pulverizador, permitindo a aplicação precisa de defensivos, evitando uso excessivo ou desnecessário de produtos.

No quesito otimizar o uso da água e buscar fontes alternativas, foi relatado pelos três entrevistados a coleta de água da chuva captada dos telhados dos barracões e utilizada na lavagem de máquinas e irrigação dos jardins. São anualmente coletados 6,5 milhões de litros.

No que se refere a práticas para otimizar uso de energia envolvendo uso de energia renováveis, como já citado, usam energia solar. O E3 e o E2 disseram que é feito acompanhamento da produção de energia, bem como a limpeza e estado de conservação das placas solares, uma vez que todos estes fatores interferem na quantidade de energia produzida.

Foram evidenciadas práticas de EC para a dimensão "Otimizar", envolvendo a adoção de princípios e práticas de melhoria contínua, redução de desperdícios nos processos e utilização de tecnologias para maximizar recursos, conforme descrito na EMF (2015) e complementado por Varella (2022). Essas práticas estão relacionadas ao uso de tecnologias de apoio à tomada de decisão, automação, controle do uso de pesticidas, uso eficiente da água, busca por fontes alternativas de energia e otimização da produção de energia renovável.

### 3.1.4 Ciclar

Em Ciclar, os três entrevistados citaram, e já mencionado anteriormente, a adoção de práticas de reuso e reciclagem nos processos como a separação de lixo reciclável e entrega a uma cooperativa de catadores, a compostagem do lixo orgânico, efetuam a logística reversa das embalagens de defensivos, vendem pallets, ferro velho e sacos plásticos. Em suma, disseram aproveitar os resíduos, seja vendendo ou utilizando internamente. E quando não tem mais utilidade internamente e passível de venda, fazem o descarte consciente.

Sobre a utilização de bens remanufaturados, os três entrevistados disseram reutilizar materiais internamente, evitando a aquisição de recursos externos. Em relação à adoção dos princípios do lixo zero, que envolvem a comercialização de resíduos como insumos em outras cadeias produtivas e a promoção de ciclos curtos e fechados de produção, essas práticas foram mencionadas no parágrafo anterior. No que diz respeito ao aproveitamento de resíduos como recursos, por exemplo a reciclagem, compostagem e energia a partir do lixo, tanto o E1 quanto o E2 destacaram o uso do esterco para adubar a pastagem e o aproveitamento do chorume - a água resultante do escoamento do confinamento é coletada em caixas de contenção e utilizada na fertirrigação das pastagens."

No escopo da Agricultura 4.0, no que se refere às práticas de remanufatura de produtos/peças dos equipamentos, o E1 mencionou que no setor pecuário reaproveitam sacos plásticos e contêineres de fertilizantes para armazenar ração na parte de recria. Sobre a cadeia reversa, destacada nos parágrafos anteriores, envolve a separação de lixo reciclável e sua entrega a uma cooperativa de catadores, a compostagem de lixo orgânico e a logística reversa das embalagens de defensivos. Além disso, ocorre a venda de *pallets*, ferro velho e sacos plásticos. No que se refere ao uso de tecnologias para o reaproveitamento de resíduos e extração de componentes bioquímicos, já mencionados anteriormente, estão incluídas a reciclagem e compostagem, sendo o esterco e o chorume utilizados para adubar e fertirrigar as pastagens.

Foi também observada a dimensão “Ciclar” nos termos propostos pela EMF (2025) referente a adoção de práticas de reuso e reciclagem nos processos, uso de bens remanufaturados, sempre que possível, pressupostos do lixo zero - comercializar resíduos, uso de resíduos como recurso produtivo. Constatou-se ainda a o disposto por Varella (2022) quanto a remanufaturar produto/peças dos equipamentos, ações de logística reversa envolvendo resíduos que podem ser aproveitados em outras cadeias, bem como o reaproveitamento de materiais e resíduos da pecuária para agricultura.

### 3.1.5 Virtualizar

Em Virtualizar, quanto a aquisição de insumos online por aplicativos e mídias digitais, o E3 e o E2 informaram que compram alguns insumos pela Internet, telefone e e-mail, no caso peças bem específicas. Já a venda da produção e dos bovinos é realizada de forma online.

Sobre a adoção de indicadores de tomada de decisão oriundos de Big Data, e já citado anteriormente, é utilizado para o controle de pragas, levantamento pluviométrico, mapa de plantio e de colheita, dispositivos em máquinas e equipamentos que fornecem informações sobre plantio e colheita. Os mapas gerados mostram as áreas e sua produção, o que permitem tratamento/correção do solo de forma precisa. Também usam o *Business Intelligence (BI)* que contribui para a tomada de decisões a partir das informações geradas.

No âmbito da Agricultura 4.0, no item que tem a ver com tornar as informações disponíveis em mídias digitais, facilitando a interpretação, os três entrevistados citaram que, depende da informação, ela circula pelo sistema. Muitas são informadas pelo *WhatsApp* e e-mail (as mais formais). Informações como mapas de produção estão online pelo próprio sistema e é acessado pelos usuários a qualquer momento. Além deste, tem mais 2 plataformas para acesso de informações.

Quanto ao uso de tecnologias de acesso remoto e gestão de sistemas da fazenda por meio de dispositivos móveis conectados à Internet, o E3 mencionou o BI, enquanto o E2 destacou o amplo acesso ao setor agrícola por meio de celulares. Em relação à dimensão “Virtualizar”, duas práticas previstas pela EMF (2015) não foram observadas devido à especificidade do local analisado: a comercialização de produtos como serviços (servitização) e o e-commerce. No escopo da Agricultura 4.0, conforme mencionado por Varella (2022), as práticas circulares identificadas referem-se à disponibilização de

informações em mídias digitais, facilitando a interpretação e o uso de tecnologias de acesso remoto.

### 3.1.6 Trocar

Em Trocar, substituem tecnologias antigas por novas, sempre que possível, o E2 exemplificou a substituição de uma plantadeira que trabalhava a 6 km/h por outra que planta a 16 km/h com qualidade superior. Também mencionou que sempre adotam ou substituem tecnologias que proporcionam melhor desempenho produtivo. Na pecuária, o E1 citou que o controle do trato dos animais era feito por uma balança, a qual foi substituída por uma versão automatizada.

Sobre adotarem tecnologias de produção que gastam menos energia e mais eficientes, o E3 disse que buscam alternativas para isso em diferentes escopos. Citou o setor de pessoal no qual adotam políticas e pacote de benefícios atrativos. No setor agrícola adotam as melhores tecnologias em todo o ciclo produtivo. Na Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS) utilizam tecnologia alemã no beneficiamento de sementes e na pecuária automatizaram o trato. Entende que tem disponível a melhor tecnologia de produção.

Nesse mesmo quesito, o E1 e E2 complementaram o E3 ao mencionarem a adoção de práticas de produção como ILPF, rotação de culturas, plantio direto, plantio consorciado e bem-estar animal. Essas tecnologias consomem menos energia e são eficientes. O E1 destacou o uso de um isotônico adicionado à água dos animais para recuperar energia após viagens cansativas, enquanto o E2 mencionou a tecnologia embarcada nas sementes. Esses elementos estão alinhados com a premissa de adotar novas tecnologias nos processos produtivos.

No que se refere à recusa do uso de insumos que geram resíduos e contaminação, o E1 e o E2 afirmaram que, no contexto agrícola, a opção pela eficiência prevalece. No entanto tem dificuldade de escolher insumos que geram menos resíduos e contaminação, pois as alternativas disponíveis no mercado são limitadas. Como resultado, não têm a possibilidade de recusar produtos com embalagens não reaproveitáveis. Porém, mencionaram que alguns fornecedores oferecem embalagens maiores que consomem menos plástico. Nesses casos, se tiverem a opção de adquirir o mesmo produto em embalagens que geram menos resíduos, optarão por elas.

No que diz respeito à tipologia ReSOLVE envolvendo a Agricultura 4.0, observou-se a adoção de tecnologias de IoT (agricultura inteligente) para coleta de dados na plantação e automação de processos, resultando em maiores rendimentos de colheita e sistemas de gestão agrícola aprimorados. Além disso, o uso de tecnologias em Nuvem minimiza os custos operacionais e de manutenção, disponibilizando os dados em dispositivos móveis e possibilitando a tomada de decisões baseadas neles. Também foi constatada a utilização de drones e equipamentos autônomos com benefícios econômicos, ambientais e sociais. No setor pecuário, há a automatização do trato dos animais e o uso de termometria no armazém. Ainda o E1 e o E2 informaram o uso de drones para captar dados por meio de imagens na pecuária, agricultura e floresta. O E2 complementou mencionando o planejamento de utilizar drones para mapear as ervas daninhas e aplicar

produtos somente onde houver incidência. O monitoramento de locais por meio de drones permite a geração de mapas e a dosagem precisa de herbicidas, o que reduz significativamente o custo decorrente do uso excessivo desses produtos.

Quanto às práticas de EC relativas à dimensão “Trocar” observa-se a presença da maioria delas de acordo com a EMF (2015), no entanto há espaço para avanços e estes são de ordem externa, ou seja, dos fornecedores de insumos. Há limitação de opções quanto a insumos que geram menos resíduos no que tange em especial ao reaproveitamento de embalagens. Complementado pela contribuição da Agricultura 4.0 de Varela (2022), foram evidenciadas práticas como coleta de dados e automação de processos, tecnologia de Nuvem e drones.

Na síntese dos resultados apresentados, considerando os pressupostos teóricos adotados sobre as dimensões da EC baseada na tipologia ReSOLVE (EMF, 2015 e Varela, 2022), foi constatado a adoção das práticas de EC em sua maior parte. No entanto, observa-se que há espaço para melhorias e ou avanços. Dentre os quais destaca-se a ausência na dimensão “Compartilhar” quanto ao compartilhamento de equipamentos entre as fazendas e na dimensão “Otimizar” a adoção do ciclo fechado da água nos processos produtivos. O compartilhamento que ocorre é somente entre os setores (interno) e favorecido pelo sistema de produção mista adotado.

Já em relação à dimensão “Virtualizar”, as práticas de EC comercializar a produção pelo *e-commerce* e produtos como serviços, não foram constatadas uma vez que o contexto analisado envolve a produção de *commodities*. Desse modo, as conjecturas adotadas na pesquisa, sendo: a) de existir no contexto analisado práticas de EC consideradas pela tipologia ReSOLVE da EMF (2015) e b) de que a Agricultura 4.0 contribui para as práticas de EC (Varela, 2022), foram evidenciadas, uma vez estas se complementam ao ilustrar as práticas de EC adotadas e aqui apresentadas.

### 3.2 PRÁTICAS DE AGRICULTURA CIRCULAR NO CONTEXTO ANALISADO

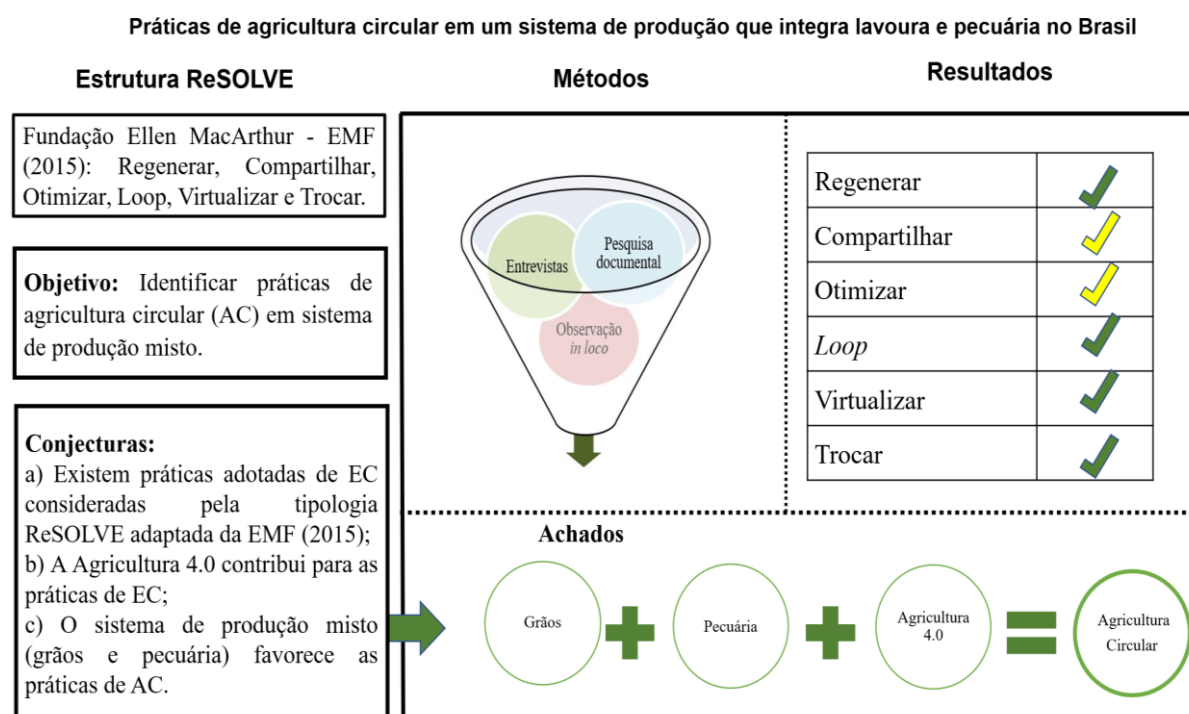
Considerando o caso analisado e a necessidade de repensar o desenvolvimento agrícola, a perspectiva trazida pela AC contribui para melhorar os processos agrícolas existentes e projetar novos, como destacam Atinkut (2020) e Yue *et al.* (2022). Diante da perspectiva de AC fornecida por Trendov (2017) e Zadgaonkar, Darwai e Mandavgane (2022), identificaram-se práticas no caso analisado que minimizam consumo de insumos produtivos (áreas da pecuária incrementam a produção de grãos sem uso de recursos adicionais), reciclagem (palha da colheita e esterco melhoram a qualidade do solo), eficiência (em uma mesma área pode produzir grãos e animais) e tecnologia (a Agricultura 4.0 favorece a circularidade no uso dos recursos). Outra constatação foi de que a AC envolve o manejo de insumos orgânicos do solo para melhorar sua fertilidade e a sustentabilidade do sistema de cultivo conforme citado em El Janati *et al.* (2021), prática adotada na propriedade rural, no caso o sistema de plantio direto.

Constata-se diante do caso analisado, a convergência com a afirmação de Atinkut (2020) de que a AC é uma nova abordagem e constitui um modelo de cultivo com vantagens ecológicas e econômicas, e como tal é possível viável. Na definição de AC apresentada pela WUR (2018), é mencionada a busca coletiva de agricultores, empresas e

pesquisadores pela combinação ideal de princípios ecológicos com tecnologia moderna. Esses princípios podem ser observados em maior ou menor grau nas seis dimensões do EMF (2015) e sua relação com a Agricultura 4.0. Outro fator previsto pela WUR (2018) refere-se às práticas de AC não se concentrarem apenas em rendimentos e uso eficiente dos recursos e energia, mas também em causar menos impacto no meio ambiente, natureza e clima. Isso reforça a afirmação de Velasco-Muñoz *et al.* (2021) de que a AC abrange atividades além da garantia da sustentabilidade econômica, ambiental e social na agricultura por meio da adoção de práticas que otimizam os recursos de produção.

Embora as práticas de AC citadas na literatura sejam frequentemente associadas a países como a Holanda e China, o caso analisado evidencia a adoção de práticas de EC que estão alinhadas com a definição de AC encontrada na literatura. Conforme destacado por Li *et al.* (2021), a AC representa um novo modelo agrícola que prioriza a circularidade de materiais e energia, combinando recursos naturais para atingir objetivos ecológicos, econômicos e sociais simultaneamente. Isso caracteriza um sistema agrícola sustentável.

A AC é um conceito recente que envolve práticas agrícolas convergentes com a EC, otimizando o uso dos recursos (Zhu *et al.*, 2019; Zadgaonkar; Darwai; Mandavgane, 2022). No caso analisado, foram observadas práticas convergentes com a AC em um modelo de produção mista que combina o plantio de lavouras com a pecuária, destacando o favorecimento da circularidade no uso dos recursos produtivos. Isso evidencia a conjectura c) de que “o sistema de produção mista (grãos e bovinos) favorece as práticas de AC”. As evidências que a pesquisa encontrou sobre práticas de AC no contexto analisado são apresentadas na Figura 1.



**Figura 1.** Resultados da pesquisa

Pertinente destacar a contribuição da tecnologia para as práticas de AC neste estudo norteadas pela Agricultura 4.0, o que vai ao encontro do que afirmam Li *et al.*

(2021) e Beluhova-Uzunova e Dunchev (2022) quanto a ciência e a tecnologia avançadas darem suporte para a AC. No entanto, os autores ponderam que diferente da agricultura convencional, a AC exige tecnologias que demandam maiores investimentos, exigindo do governo suporte técnico e financeiro.

Cita-se também que, o cenário encontrado quanto às práticas de EC proposto pela EMF (2015) e complementadas por Varella (2022) quanto a Agricultura 4.0, são permeadas e favorecidas pela adoção do sistema de produção integrada. Reforçando afirmação de Beluhova-Uzunova e Dunchev (2022) quanto ao papel da Agricultura 4.0 para superar os desafios relacionados com a escassez de recursos e na definição dos futuros modelos de produção agrícola. Convergente também com a afirmação de Hilimire (2011), Zhu *et al.* (2019) e Zadgaonkar, Darwai e Mandavgane (2022) de que o modelo de agricultura mista adota os princípios da EC por reciclar resíduos e por isso contribui para os objetivos da AC.

O aumento da eficiência do uso da terra pelos sistemas integrados lavoura-pecuária, conforme destacado por Schoof *et al.* (2021), contribui para a sustentabilidade dos sistemas alimentares. Essa contribuição ficou evidenciada pela estrutura ReSOLVE quanto a presença de quase a totalidade das práticas no ambiente analisado. Um exemplo concreto disso é a presença das dimensões "Regenerar e Ciclar" na produção mista. Nesse contexto, destaca-se a reciclagem de matéria orgânica e nutrientes das fezes do gado, criando um ciclo fechado que favorece a fertilidade do solo, como afirmam Lemaire *et al.* (2014).

A partir do caso analisado, ilustrado nas dimensões "Otimizar e Compartilhar", constata-se que a produção integrada é uma alternativa para aumentar a produtividade pela intensificação do uso dos recursos produtivos e a diversificação da produção agrícola, com apontado por Sone *et al.* (2019). Consequentemente, a adoção das práticas circulares previstas na tipologia ReSOLVE, minimizam os problemas ambientais ao mesmo tempo em que contribuem para agricultura produtiva e economicamente viável, o que além de constatado no contexto empírico em questão, foi defendido por Ryschawy *et al.* (2014).

Em suma, observa-se que os sistemas de produção mista melhoram a qualidade do solo que resulta em aumento de produtividade ao mesmo tempo em que reduz o uso e gastos com insumos externos como fertilizantes, como destacado por Trendov (2017) e Zadgaonkar, Darwai e Mandavgane (2022) no que a tange os resíduos de um sistema serem utilizados como recurso em outro. Além dos ganhos econômicos, beneficia o meio ambiente pela reutilização de recursos e ajuda a mitigar as externalidades ambientais negativas (Hang *et al.*, 2021), e isso foi captado *in loco* pela Estrutura ReSOLVE e reforçada nas falas complementares dos entrevistados.

## 4 CONCLUSÃO

As práticas de Economia Circular (EC) adotadas na agricultura são conhecidas como Agricultura Circular (AC), inicialmente implementadas em países como Holanda e China por meio de políticas governamentais. Neste estudo, o objetivo foi identificar as práticas da agricultura circular em um caso brasileiro, utilizando a tipologia ReSOLVE – adaptada - em um sistema de produção misto. Foi constatado que no caso analisado, a maioria das práticas abrangia as seis dimensões propostas, Regenerar, Compartilhar, Otimizar, Ciclar, Virtualizar e Trocar - complementadas pela abordagem da Agricultura

4.0. Esses resultados evidenciam a presença da circularidade no uso de recursos, impulsionada pela tecnologia advinda da Agricultura 4.0.

A agricultura 4.0 está alinhada com a Economia Circular (EC), adotando práticas que promovem a sustentabilidade e a eficiência. A utilização de energias renováveis, como solar e biogás, o manejo do solo e a separação de resíduos são exemplos dessas iniciativas. Compartilhamento de máquinas, terceirização e reparos prolongam a vida útil dos equipamentos, enquanto o armazenamento em nuvem e a digitalização otimizam a gestão. A agricultura de precisão e o controle de pragas reduzem o uso de agrotóxicos, enquanto a automação melhora a eficiência energética. Essas práticas reforçam a ideia de que a agricultura moderna, apoiada em tecnologias avançadas, pode impulsionar a transição para a EC, promovendo a sustentabilidade e gerando valor para os negócios rurais. Além disso, ressalta a importância de criar um *mindset* na gestão, visando à regeneração dos ecossistemas e formando indivíduos engajados nessa causa. A agricultura 4.0 oferece a oportunidade de transformar o setor agrícola em um protagonista comprometido com a preservação dos recursos naturais e a produção sustentável de alimentos.

Embora constatada a predominância das práticas consideradas pela tipologia ReSOLVE adaptada, observa-se que há espaço para melhorias e ou avanços. Cita-se a ausência na dimensão “Compartilhar” o compartilhamento de equipamentos entre as fazendas e na dimensão “Otimizar” a adoção do ciclo fechado da água nos processos produtivos. Outra prática não observada foi relacionada a dimensão, a “Virtualizar” no quesito comercializar a produção pelo *e-commerce* e comercializar produtos como serviços, no entanto entendeu-se que não são aplicáveis a um contexto que envolve *commodities*.

Como limitações, destaca-se o ambiente analisado, uma vez que os dados refletem a realidade de uma propriedade rural mato-grossense com produção mista e, por tal característica, não generalizáveis às demais. Soma-se a isso o fato de receberem certificações e prêmios por produzir de forma sustentável, o que pode denotar/evidenciar um caso de exceção. Outra limitação se aplica a lente teórica adotada, uma vez que a tipologia ReSOLVE podem ser incorporadas outras dimensões capazes de trazer evidências além das aqui evidenciadas. Além disso, a definição de agricultura circular é recente e pode interferir na análise realizada.

Essa pesquisa contribui para expandir o conhecimento sobre EC na agricultura e promover alternativas sustentáveis para o setor. O estudo identificou práticas de EC na produção agrícola, destacando sua importância para enfrentar os desafios da alimentação global e do modelo de produção linear.

Em particular, foi analisado um caso brasileiro na produção de grãos, pouco discutida na literatura especializada. Essas descobertas evidenciam a necessidade de adoção da Agricultura Circular (AC) em contextos diversos e mostram o potencial de transformação que essa abordagem traz para a sustentabilidade agrícola.

Sugere-se ampliar o estudo para incluir mais propriedades rurais em Mato Grosso, principal produtor de grãos e de bovinos do Brasil, e analisar as possibilidades e limitações da adoção da AC na produção agropecuária. Isso contribuirá para buscar alternativas ao modelo de produção linear e promover a sustentabilidade na agricultura.

---

## REFERÊNCIAS

- ALI, J.; ALI, T. Circular economy and agriculture: mapping scientific productivity, research pattern and future research direction. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-46, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03963-x>.
- ATINKUT, H. B.; YAN, T.; ZHANG, F.; QIN, S., GAI, H.; LIU, Q. Cognition of agriculture waste and payments for a circular agriculture model in Central China. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 10826, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67358-y>.
- AZNAR-SÁNCHEZ, J. A.; VELASCO-MUÑOZ, J. F.; GARCÍA-ARCAE, D.; LÓPEZ-FELICES, B. Identification of opportunities for applying the circular economy to intensive agriculture in Almería (South-East Spain). **Agronomy**, v. 10, n. 10, p. 1499, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10101499>.
- BARDIN, L. Análise de conteúdo. 3. ed. **Lisboa: Edições**, v. 70, n. 1, p. 223, 2004.
- BASSO, B.; JONES, J. W.; ANTLE, J.; MARTINEZ-FERIA, R. A.; VERMA, V. Enabling circularity in grain production systems with novel technologies and policy. **Agricultural Systems**, v. 193, p. 103244, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103244>.
- BELUHOVA-UZUNOVA, R.; DUNCHEV, D. Agriculture 4.0 – Concepts, Technologies and Prospects. **Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development**, v. 22, p. 97-104, 2022. Disponível em: [https://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.22\\_2/Art11.pdf](https://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.22_2/Art11.pdf). Acesso em: 20 jul. 2024.
- BIBAS, R.; CHATEAU, J.; LANZI, E. Policy scenarios for a transition to a more resource efficient and circular economy. **OECD Environment Working Papers**, n. 169, OECD Publishing, Paris, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1787/c1f3c8d0-en>.
- COLLIS, J.; HUSSEY, R. **Pesquisa em administração**: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- EL JANATI, M.; AKKAL-CORFINI, N.; OUKARROUM, A.; ROBIN, P.; SABRI, A.; CHIKHAOUI, M.; THOMAS, Z. Benefits of circular agriculture for cropping systems and soil fertility in oases. **Sustainability**, v. 13, n. 9, p. 4713, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13094713>.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION- EMF. **Delivering the circular economy**: a toolkit for policymakers. EMF, 2015. Acesso em: 20 jul. 2022. Disponível em: [https://www.managementimpact.nl/content/uploads/sites/sigma/2016/02/Delivering\\_the\\_circular\\_economy\\_A\\_toolkit\\_for\\_policymakers.pdf](https://www.managementimpact.nl/content/uploads/sites/sigma/2016/02/Delivering_the_circular_economy_A_toolkit_for_policymakers.pdf).
- HANG, S.; LI, J.; XU, X.; LYU, Y.; LI, Y.; HUARUI GONG, H.; XU, Y.; OUYANG, Z. An optimization scheme of balancing GHG emission and income in circular agriculture



system. **Sustainability**, v. 13, n. 13, p. 7154, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13137154>.

HILIMIRE, K. Integrated crop/livestock agriculture in the United States: A review. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 35, n. 4, p. 376-393, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.562042>.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Relatórios de mercado: agronegócio no Brasil e em Mato Grosso**. IMEA, 2022. Disponível em: [https://bucket-xiruexterno-2.s3.sa-east-1.amazonaws.com/5/696275888694231040/1284629834766426112-.pdf?X-Amz-Expires=432000&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIOZVUSV4HGV74RLA/20230511/sa-east-1/s3/aws4\\_request&X-Amz-Date=20230511T134629Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=20c4339845b8069bdf7abe61b0e941004fdface548ae269231ab2d199509e4b7](https://bucket-xiruexterno-2.s3.sa-east-1.amazonaws.com/5/696275888694231040/1284629834766426112-.pdf?X-Amz-Expires=432000&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIOZVUSV4HGV74RLA/20230511/sa-east-1/s3/aws4_request&X-Amz-Date=20230511T134629Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=20c4339845b8069bdf7abe61b0e941004fdface548ae269231ab2d199509e4b7). Acesso em: 01 set. 2022.

JABBOUR, A. B. L. S.; JABBOUR, C. J. C.; GODINHO FILHO, M.; ROUBAUD, D. INDUSTRY 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. **Annals of Operations Research**, v. 270, p. 273-286, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2772-8>.

LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A. J.; CARVALHO, P. C. F.; DEDIEU, B. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 4-8, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>.

LI, B.; FENG, Y.; XIA, X.; FENG, M. J. Evaluation of China's circular agriculture performance and analysis of the driving factors. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 1643, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13041643>.

MACARTHUR, E. Towards the circular economy. **Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition – Executive Summary**. 2013. Disponível em: <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/business/reports/ce2012>. Acesso em: 23 set. 2023.

RYSCHAWY, J.; JOANNON, A.; CHOISIS, J. P.; A. GIBON, A.; LE GAL, P. Y. Participative assessment of innovative technical scenarios for enhancing sustainability of French mixed crop-livestock farms. **Agricultural systems**, v. 129, p. 1-8, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.05.004>.

SCHOOF, N.; ANITA KIRMER; JAKOB HÖRL; RAINER LUICK; SABINE TISCHEW; MICHAEL BREUER; FRANK FISCHER; SANDRA MÜLLER; VIVIEN VON KÖNIGSLÖW. Sheep in the vineyard: first insights into a new integrated crop–livestock system in

Central Europe. **Sustainability**, v. 13, n. 22, p. 12340, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132212340>.

SONE, J. S.; OLIVEIRA, P. T. S.; ZAMBONI, P. A. P.; VIEIRA, N. O. M.; CARVALHO, G. A.; MACEDO, M. C. M.; ARAUJO, A. R.; MONTAGNER, D. B.; SOBRINHO, T. A. Effects of long-term crop-livestock-forestry systems on soil erosion and water infiltration in a Brazilian Cerrado site. **Sustainability**, v. 11, n. 19, p. 5339, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11195339>.

TRENDONOV, N. M. Index of circular agriculture development in the Republic of Macedonia. **Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development**, v. 6, n. 1, p. 35-38, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1515/vjbsd-2017-0006>.

VARELLA, W. A. **Arquitetura de serviços integrada para promover a economia circular na agricultura 4.0**. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://bibliotecatede.uninove.br/handle/tede/2926>. Acesso em: 15 jul. 2023.

VELASCO-MUÑOZ, J. F.; MENDOZAB, J. M. F.; AZNAR-SÁNCHEZA, J. A.; GALLEGOSCHMID, A. Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 170, p. 105618, 2021. DOI:10.1016/j.resconrec.2021.105618.

VIEIRA, M. M. F. Por uma boa pesquisa (qualitativa) em administração. **Pesquisa Qualitativa em Administração**, v. 2, p. 13-28, 2004.

WAGENINGEN UNIVERSITY RESEARCH - WUR. **Agricultura circular**: uma nova perspectiva para a agricultura holandesa. 25 abr. 2018. Disponível em: <https://www.wur.nl/en/show/circular-agriculture-a-new-perspective-for-dutch-agriculture-1.htm>. Acesso em: 20 Abri. 2022.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

YUE, Q.; GUO, P.; WU, H.; WANG, Y.; ZHANG, C. Towards sustainable circular agriculture: An integrated optimization framework for crop-livestock-biogas-crop recycling system management under uncertainty. **Agricultural Systems**, v. 196, p. 103347, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103347>.

ZADGAONKAR, L. A.; DARWAI, V.; MANDAVGANE, S. A. The circular agricultural system is more sustainable: Emergy analysis. **Clean Technologies and Environmental Policy**, p. 1-15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02245-2>.

ZHU, Q.; JIA, R.; LIN, X. Building sustainable circular agriculture in China: economic viability and entrepreneurship. **Management Decision**, v. 57, n. 4, p. 1108-1122, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1108/MD-06-2018-0639>.