

**AGRICULTURA
REGENERATIVA E PRÁTICAS
AGROECOLÓGICAS:
CONTRIBUIÇÕES PARA A
MITIGAÇÃO DAS
MUDANÇAS CLIMÁTICAS, A
SUSTENTABILIDADE
SOCIOAMBIENTAL E A
SEGURANÇA ALIMENTAR**

**REGENERATIVE AGRICULTURE AND SOCIO-ENVIRONMENTAL
SUSTAINABILITY: ASSESSING THE IMPACT OF AGROECOLOGICAL
PRACTICES ON CLIMATE CHANGE MITIGATION AND FOOD SECURITY**

Ciências Biológicas, Ciências Agrárias • 14/08/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/786654167](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/786654167)

Bárbara Tainara Ferreira Pires¹
Lincon Martins Faleiro²
Mário César Santana Roldão²
Andrey Raimundo da Silva³
Jefferson Juan Silva Sá⁴
Millena dos Santos Oliveira⁵
Danielle Louise dos Santos Pacheco⁶
Cristian Silva Padilha⁷
Célio Pereira Barbosa⁸
Matheus Soares Alves Opatiski⁹
Moises dos Santos Cavalcante¹⁰
Roberta Tayná Vassalo Messias¹¹
Dreyd Rodrigues Medeiros¹²
Karoline Sousa Amaral¹³
Pilatos João Matavela¹⁴
Alfredo Leonel de Encarnação¹⁴
Tiago Mendonça Scavone¹⁵
Igor Lima Edwards¹⁶
Gabriel Tenório Ramos¹⁷
Enio Grazianni Gonçalves Sirqueira¹⁸
Sâmela Keila Almeida dos Santos¹⁹

RESUMO

O estudo analisou as evidências científicas sobre a agricultura regenerativa como estratégia para promover a sustentabilidade dos sistemas agrícolas frente aos desafios ambientais, climáticos e produtivos contemporâneos. A pesquisa buscou compreender como os princípios e as práticas regenerativas contribuem para a conservação dos recursos naturais, a segurança alimentar e o desenvolvimento rural sustentável. O estudo realizou uma revisão integrativa da literatura por meio da seleção, organização e análise de artigos científicos publicados em bases de dados nacionais e internacionais, utilizando critérios previamente estabelecidos de inclusão e exclusão. A análise reuniu estudos que abordaram os fundamentos da agricultura regenerativa, as principais práticas agroecológicas, os impactos ambientais, econômicos, sociais e produtivos, além das limitações e perspectivas futuras desse modelo agrícola. Os resultados demonstraram que a agricultura regenerativa melhora a saúde do solo, favorece a conservação da água e da biodiversidade, amplia o sequestro de carbono, fortalece a resiliência climática e contribui para sistemas produtivos mais sustentáveis. A pesquisa amplia a compreensão sobre o tema e fornece subsídios científicos para orientar futuras investigações, políticas públicas e estratégias voltadas ao desenvolvimento sustentável da agricultura.

Palavras-chave: Agroecologia; Desenvolvimento rural sustentável; Segurança alimentar; Sistemas agroecológicos; Sustentabilidade ambiental.

ABSTRACT

This study analyzed the scientific evidence on regenerative agriculture as a strategy to promote the sustainability of agricultural systems in the face of contemporary environmental, climatic, and productive challenges. The research sought to understand how

regenerative principles and practices contribute to the conservation of natural resources, food security, and sustainable rural development. An integrative literature review was conducted through the selection, organization, and analysis of scientific articles published in national and international databases, using previously established inclusion and exclusion criteria. The analysis gathered studies addressing the foundations of regenerative agriculture, the main agroecological practices, as well as the environmental, economic, social, and productive impacts, in addition to the limitations and future perspectives of this agricultural model. The results demonstrated that regenerative agriculture improves soil health, promotes the conservation of water resources and biodiversity, enhances carbon sequestration, strengthens climate resilience, and contributes to more sustainable production systems. This study expands the understanding of the subject and provides scientific evidence to support future research, public policies, and strategies aimed at the sustainable development of agriculture.

Keywords: Agroecology; Environmental sustainability; Food security; Sustainable rural development; Agroecological systems.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura ocupa posição estratégica no desenvolvimento sustentável. O setor fornece alimentos, fibras e matérias-primas essenciais para a sociedade. Ao mesmo tempo, os sistemas agrícolas exercem forte influência sobre os recursos naturais e o equilíbrio climático. As mudanças climáticas intensificam desafios relacionados à produção de alimentos, à conservação ambiental e à manutenção dos serviços ecossistêmicos. Eventos climáticos extremos aumentam a vulnerabilidade dos sistemas produtivos. Esses eventos comprometem a produtividade agrícola e a

segurança alimentar em diversas regiões do mundo (Rhodes, 2017; Pe'er *et al.*, 2020; Seppelt *et al.*, 2022). Esse cenário amplia a necessidade de modelos agrícolas mais sustentáveis. Esses modelos devem conciliar produção, conservação ambiental e desenvolvimento socioeconômico. Nesse contexto, a agricultura regenerativa e as práticas agroecológicas ganham destaque na literatura científica como estratégias capazes de promover sistemas agrícolas mais resilientes e ambientalmente sustentáveis (Brumer *et al.*, 2023; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Opatski, 2025).

A agricultura regenerativa constitui uma abordagem orientada para a recuperação e a conservação dos sistemas agrícolas. Esse modelo busca integrar a produção de alimentos à manutenção dos processos ecológicos. Seus princípios valorizam a saúde do solo, a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas. A agricultura regenerativa também propõe sistemas produtivos capazes de responder às mudanças ambientais e sociais. Essa perspectiva amplia o conceito de sustentabilidade no setor agrícola. O sistema deixa de priorizar apenas a redução dos impactos negativos. O sistema passa a considerar a regeneração dos recursos naturais e o fortalecimento das relações entre produção e ambiente (Rhodes, 2017; Loring, 2022; Opatski, 2025). Nesse sentido, práticas de conservação do solo e diversificação produtiva podem favorecer a manutenção da produtividade e a melhoria das condições ambientais dos sistemas agrícolas (Teng *et al.*, 2024; Krause *et al.*, 2024). A agricultura regenerativa representa, portanto, uma abordagem relevante para a construção de sistemas produtivos mais sustentáveis e resilientes diante dos atuais desafios socioambientais.

A agroecologia constitui um dos principais pilares da transição para sistemas agrícolas sustentáveis. Essa abordagem integra conhecimentos científicos, saberes tradicionais e princípios ecológicos. Seu objetivo consiste em promover sistemas produtivos mais equilibrados e resilientes. As práticas agroecológicas estimulam a diversificação de culturas, a conservação da biodiversidade e o uso eficiente dos recursos naturais. Essas práticas também reduzem a dependência de insumos externos e fortalecem os processos ecológicos que sustentam a produção agrícola (Brumer *et al.*, 2023; Rööös *et al.*, 2022; Souissi *et al.*, 2024). A agroecologia compartilha diversos princípios com a agricultura regenerativa. Ambas valorizam a conservação do solo, o equilíbrio dos ecossistemas e a sustentabilidade da produção. Ambas também reconhecem a importância da integração entre fatores ambientais, sociais e econômicos para o desenvolvimento rural sustentável (Kliem, 2022; Dittmer *et al.*, 2023; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025). Essa convergência fortalece o potencial dessas abordagens para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente demanda por sistemas alimentares mais sustentáveis.

As práticas agroecológicas contribuem para a mitigação das mudanças climáticas por diferentes mecanismos ecológicos. Essas práticas favorecem o sequestro de carbono no solo. Essas práticas também reduzem as perdas de matéria orgânica e melhoram a qualidade física, química e biológica do solo. A cobertura vegetal permanente protege o solo contra processos erosivos. A diversificação dos sistemas produtivos fortalece a biodiversidade e aumenta a estabilidade dos ecossistemas agrícolas. O manejo conservacionista também favorece o uso eficiente da água e reduz a emissão de gases de efeito estufa associados ao manejo

convencional (Hamidov *et al.*, 2018; Smith *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2024). Estudos recentes demonstram que sistemas baseados em princípios regenerativos podem manter a produtividade agrícola e, simultaneamente, ampliar a resiliência frente aos impactos das alterações climáticas (Dittmer *et al.*, 2023; Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025). Esses resultados reforçam o potencial da agricultura regenerativa e da agroecologia como estratégias para enfrentar os desafios climáticos e promover sistemas agrícolas ambientalmente mais sustentáveis.

A agricultura regenerativa fortalece a sustentabilidade socioambiental dos sistemas produtivos. Essa abordagem promove a conservação dos recursos naturais. Essa abordagem também favorece a recuperação da fertilidade do solo e a proteção da biodiversidade. A adoção de práticas regenerativas reduz a degradação ambiental e amplia a oferta de serviços ecossistêmicos essenciais à produção agrícola. Esses benefícios favorecem o equilíbrio entre produção, conservação ambiental e desenvolvimento rural (Pe'er *et al.*, 2020; Storkey *et al.*, 2024; Krause *et al.*, 2024). A agricultura regenerativa também pode gerar benefícios sociais e econômicos. Essa abordagem estimula a diversificação dos sistemas de produção. Essa abordagem fortalece a resiliência das propriedades rurais diante das oscilações climáticas e de mercado. Além disso, essa abordagem pode ampliar as oportunidades de desenvolvimento local e incentivar modelos produtivos mais inclusivos e sustentáveis (Mulungu *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025). Esses resultados evidenciam que a sustentabilidade socioambiental depende da integração entre conservação ambiental, viabilidade econômica e fortalecimento das comunidades rurais.

A agricultura regenerativa também contribui para o fortalecimento da segurança alimentar. Essa abordagem favorece a manutenção da produtividade agrícola em diferentes condições ambientais. Essa abordagem também melhora a qualidade dos recursos naturais que sustentam a produção de alimentos. Sistemas agrícolas mais resilientes apresentam maior capacidade de enfrentar eventos climáticos extremos e reduzir perdas produtivas. Essa condição amplia a estabilidade da oferta de alimentos e fortalece a sustentabilidade dos sistemas alimentares (Lopez-Ridaura *et al.*, 2018; Belay *et al.*, 2023; Seppelt *et al.*, 2022). Estudos recentes indicam que práticas agroecológicas e regenerativas podem conciliar produtividade, conservação ambiental e qualidade nutricional dos alimentos. Esses resultados fortalecem o desenvolvimento rural sustentável e ampliam a capacidade dos sistemas agrícolas de atender à crescente demanda mundial por alimentos (Gora *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025). Dessa forma, a agricultura regenerativa representa uma estratégia promissora para integrar segurança alimentar, sustentabilidade socioambiental e adaptação às mudanças climáticas.

A produção científica sobre agricultura regenerativa e práticas agroecológicas apresentou crescimento expressivo nos últimos anos. Esse crescimento reflete o interesse da comunidade científica por estratégias capazes de conciliar produção agrícola e sustentabilidade. Os estudos investigam diferentes sistemas de cultivo, condições ambientais e contextos socioeconômicos. As evidências indicam benefícios relacionados à conservação do solo, ao aumento da biodiversidade, à redução das emissões de gases de efeito estufa e ao fortalecimento da segurança alimentar (Rhodes, 2017; Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024). A literatura também destaca avanços na compreensão dos fatores que influenciam a

adoção dessas práticas e seus impactos sobre a resiliência dos sistemas agrícolas (Musafiri *et al.*, 2022; Ogutu *et al.*, 2025; Souissi *et al.*, 2024). Além disso, revisões recentes reforçam o potencial dessas abordagens para promover sistemas alimentares mais sustentáveis e resilientes diante das mudanças climáticas (Röös *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025). Esses avanços ampliaram o conhecimento disponível sobre o tema. Entretanto, eles também evidenciaram novos desafios científicos que ainda necessitam de investigação.

Apesar dos avanços científicos, a literatura ainda apresenta limitações importantes. Os estudos utilizam diferentes delineamentos metodológicos. Os pesquisadores também empregam indicadores distintos para avaliar os efeitos das práticas regenerativas. Essa heterogeneidade dificulta a comparação entre os resultados. Essa condição também limita a construção de conclusões amplamente generalizáveis (Hamidov *et al.*, 2018; Saran *et al.*, 2024; Tilahun; Bantider; Yayeh, 2025). Muitos estudos concentram suas análises em componentes específicos dos sistemas agrícolas. Esses estudos priorizam, por exemplo, o carbono do solo, a produtividade, a biodiversidade ou a segurança alimentar de forma isolada. Essa abordagem reduz a compreensão integrada das interações entre os aspectos ambientais, sociais e econômicos da agricultura regenerativa (Kc; Tzadok; Pant, 2022; Newton *et al.*, 2024; Rakkar; Deiss; Dick, 2025). Essas limitações demonstram a necessidade de sínteses críticas que integrem as evidências disponíveis e permitam uma compreensão mais abrangente das contribuições das práticas agroecológicas para a agricultura regenerativa.

A literatura ainda não apresenta consenso sobre a magnitude dos benefícios da agricultura regenerativa e das práticas agroecológicas. Os estudos divergem quanto aos indicadores utilizados e aos contextos analisados. Essas diferenças dificultam a generalização dos resultados. A literatura também apresenta lacunas sobre os fatores que condicionam a adoção dessas práticas em diferentes sistemas agrícolas. Persistem dúvidas sobre seus efeitos integrados na mitigação das mudanças climáticas, na sustentabilidade socioambiental e na segurança alimentar (Tilahun; Bantider; Yayeh, 2025; Ogutu *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025). A maioria das investigações analisa componentes específicos do problema. Poucos estudos reúnem e interpretam, de forma integrada, as evidências produzidas por diferentes delineamentos metodológicos. Essa limitação reduz a compreensão abrangente do fenômeno e dificulta a identificação de convergências, divergências e lacunas do conhecimento científico (Kc; Tzadok; Pant, 2022; Saran *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024). Nesse contexto, uma revisão integrativa da literatura torna-se necessária. Essa abordagem permite sintetizar criticamente as evidências disponíveis e ampliar a compreensão sobre as contribuições das práticas agroecológicas para a agricultura regenerativa, a sustentabilidade socioambiental, a mitigação das mudanças climáticas e a segurança alimentar.

A realização desta revisão integrativa apresenta elevada relevância científica. Este estudo reúne evidências produzidas por diferentes delineamentos metodológicos. Esta revisão também promove uma análise crítica do conhecimento disponível. Essa abordagem favorece uma compreensão mais abrangente das contribuições das práticas agroecológicas para a agricultura regenerativa. Essa abordagem também permite identificar convergências, divergências e lacunas presentes na literatura científica

(Whittemore; Knafl, 2005). A síntese das evidências pode subsidiar pesquisadores, profissionais, gestores públicos e formuladores de políticas voltadas ao desenvolvimento rural sustentável. Os resultados também podem apoiar decisões relacionadas à mitigação das mudanças climáticas, à conservação dos recursos naturais e ao fortalecimento da segurança alimentar (Pe'er *et al.*, 2020; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025). Dessa forma, esta revisão busca contribuir para o avanço do conhecimento científico e oferecer subsídios consistentes para futuras pesquisas e para o planejamento de estratégias sustentáveis no setor agrícola.

Apesar do avanço do conhecimento científico, permanecem incertezas sobre as contribuições das práticas agroecológicas no contexto da agricultura regenerativa. A literatura ainda apresenta resultados heterogêneos. Os estudos também utilizam diferentes abordagens metodológicas e indicadores de avaliação. Essas características dificultam a integração das evidências disponíveis. Essa situação limita a compreensão dos benefícios, das potencialidades e das limitações dessas práticas em diferentes sistemas agrícolas. Diante desse cenário, este estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: **quais são as evidências científicas disponíveis acerca das contribuições das práticas agroecológicas, no contexto da agricultura regenerativa, para a mitigação das mudanças climáticas, a sustentabilidade socioambiental e a segurança alimentar, quando comparadas, sempre que possível, aos sistemas agrícolas convencionais?** Essa questão orienta o desenvolvimento desta revisão integrativa e delimita o escopo da investigação proposta.

Este estudo tem como objetivo analisar criticamente a literatura científica sobre o impacto das práticas agroecológicas no contexto

da agricultura regenerativa. Esta revisão discute suas contribuições para a sustentabilidade socioambiental. Esta revisão também avalia suas implicações para a mitigação das mudanças climáticas e para o fortalecimento da segurança alimentar. O estudo reúne evidências publicadas entre 2015 e 2025. O estudo integra resultados provenientes de diferentes delineamentos metodológicos. Essa abordagem permite identificar avanços científicos, convergências, divergências e lacunas do conhecimento. Essa abordagem também possibilita propor perspectivas para futuras investigações e subsidiar ações voltadas ao desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis. Assim, esta revisão pretende contribuir para a ampliação do conhecimento científico sobre a agricultura regenerativa e as práticas agroecológicas, oferecendo evidências que possam apoiar pesquisas, políticas públicas e estratégias voltadas à promoção da sustentabilidade socioambiental e da segurança alimentar.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Agricultura Regenerativa: Conceitos, Princípios e Evolução Histórica

A agricultura regenerativa representa uma abordagem voltada à recuperação da funcionalidade dos ecossistemas agrícolas. Essa abordagem busca restaurar processos ecológicos essenciais ao funcionamento dos sistemas produtivos. O modelo também procura conciliar produção de alimentos, conservação ambiental e desenvolvimento sustentável. Diferentemente de modelos que priorizam apenas a redução dos impactos ambientais, a agricultura regenerativa propõe a regeneração dos recursos naturais e o

fortalecimento dos serviços ecossistêmicos (Rhodes, 2017; Loring, 2022; Opatski, 2025).

Os princípios da agricultura regenerativa baseiam-se na manutenção da saúde do solo. Esses princípios também valorizam a conservação da biodiversidade, o uso eficiente da água e a redução das perdas de nutrientes. O manejo regenerativo incentiva a cobertura permanente do solo, a diversificação de culturas, a integração entre diferentes sistemas produtivos e a redução da mobilização do solo. Essas práticas favorecem o equilíbrio ecológico e aumentam a resiliência dos agroecossistemas frente às mudanças ambientais (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024).

A agricultura regenerativa também reconhece a importância das interações entre plantas, solo, microrganismos e clima. Essas interações sustentam a ciclagem de nutrientes e a formação da matéria orgânica. Esses processos contribuem para o sequestro de carbono, a conservação da umidade do solo e a manutenção da produtividade agrícola. Estudos recentes demonstram que sistemas regenerativos podem aumentar a qualidade do solo e preservar a produção mesmo sob condições climáticas adversas (Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

A evolução histórica da agricultura regenerativa ocorreu de forma gradual. As primeiras discussões concentraram-se na conservação do solo e na redução da degradação ambiental. Posteriormente, novas pesquisas incorporaram conceitos relacionados à biodiversidade, aos serviços ecossistêmicos e à adaptação às mudanças climáticas. Esse processo ampliou o escopo da agricultura regenerativa e fortaleceu sua inserção nas discussões

internacionais sobre sustentabilidade agrícola (Rhodes, 2017; Pe'er *et al.*, 2020; Çakmakçı; Çakmakçı; Çakmakçı, 2025).

O desenvolvimento científico da área também ampliou o número de estudos sobre sistemas regenerativos. As pesquisas passaram a avaliar indicadores ambientais, econômicos e sociais de forma integrada. Os estudos investigaram o carbono do solo, a biodiversidade, a produtividade agrícola, a qualidade dos alimentos e a resiliência dos sistemas produtivos. Essa ampliação metodológica fortaleceu a compreensão dos benefícios associados às práticas regenerativas (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Apesar dos avanços observados, a literatura ainda apresenta desafios conceituais. Alguns estudos utilizam definições distintas para agricultura regenerativa. Outros estudos empregam conceitos parcialmente sobrepostos aos de agricultura sustentável, agricultura conservacionista e agroecologia. Essa diversidade dificulta comparações entre pesquisas e limita a padronização dos indicadores utilizados. Mesmo assim, observa-se consenso crescente sobre o potencial da agricultura regenerativa para promover sistemas agrícolas mais resilientes, ambientalmente equilibrados e socialmente sustentáveis (Loring, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.1.1. Definição de Agricultura Regenerativa

A agricultura regenerativa constitui uma abordagem voltada à recuperação da funcionalidade dos agroecossistemas. Essa abordagem busca restaurar processos ecológicos essenciais ao desenvolvimento sustentável da produção agrícola. O modelo

também procura conservar os recursos naturais e fortalecer a capacidade produtiva dos sistemas agrícolas. Seu propósito ultrapassa a redução dos impactos ambientais. Seu propósito inclui a regeneração do solo, da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos que sustentam a produção de alimentos (Rhodes, 2017; Loring, 2022; Opatski, 2025).

A agricultura regenerativa fundamenta-se na integração entre processos biológicos, físicos e químicos do ambiente. Essa integração favorece o equilíbrio dos ecossistemas agrícolas. O manejo regenerativo estimula a cobertura permanente do solo, a diversificação de culturas, a redução do revolvimento do solo e a valorização da atividade biológica. Essas práticas aumentam a estabilidade ecológica e melhoram a eficiência do uso dos recursos naturais (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024).

A saúde do solo representa um dos principais fundamentos da agricultura regenerativa. O solo exerce papel central na ciclagem de nutrientes, na retenção de água e no armazenamento de carbono. A melhoria dessas funções favorece o desenvolvimento das plantas e amplia a resiliência dos sistemas produtivos. Estudos recentes demonstram que práticas regenerativas elevam o teor de matéria orgânica, melhoram a estrutura do solo e favorecem a produtividade agrícola em diferentes condições ambientais (Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

A biodiversidade também ocupa posição estratégica nesse modelo de produção. A diversidade de espécies fortalece as interações ecológicas. Essas interações aumentam a estabilidade dos agroecossistemas e reduzem a dependência de insumos externos. A integração entre culturas, árvores, microrganismos e animais

favorece processos naturais de regulação ecológica e amplia a oferta de serviços ecossistêmicos (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A literatura científica ainda apresenta diferentes interpretações para o conceito de agricultura regenerativa. Alguns autores enfatizam a recuperação da saúde do solo. Outros destacam a mitigação das mudanças climáticas, o sequestro de carbono ou a produção sustentável de alimentos. Apesar dessas diferenças, observa-se convergência quanto ao objetivo central da abordagem. A agricultura regenerativa busca restaurar a capacidade funcional dos ecossistemas agrícolas e promover sistemas produtivos ambientalmente equilibrados, economicamente viáveis e socialmente sustentáveis (Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.1.2. Origem e Evolução Histórica do Conceito

O conceito de agricultura regenerativa surgiu como resposta aos impactos ambientais associados aos modelos agrícolas intensivos. A expansão da agricultura convencional aumentou a degradação do solo, reduziu a biodiversidade e intensificou a emissão de gases de efeito estufa. Esse cenário estimulou a busca por sistemas produtivos capazes de conciliar produção agrícola e conservação ambiental (Rhodes, 2017; Pe'er *et al.*, 2020).

As primeiras iniciativas concentraram-se na conservação dos recursos naturais. Os pesquisadores priorizaram práticas voltadas à redução da erosão, à recuperação da fertilidade do solo e ao uso mais eficiente da água. Essas ações estabeleceram as bases para o desenvolvimento de modelos agrícolas fundamentados em

processos ecológicos. Posteriormente, novos estudos ampliaram essa perspectiva e incorporaram conceitos relacionados à regeneração dos ecossistemas, aos serviços ecossistêmicos e à sustentabilidade de longo prazo (Jat *et al.*, 2019; Hamidov *et al.*, 2018; Loring, 2022).

O avanço das pesquisas fortaleceu a evolução conceitual da agricultura regenerativa. A literatura passou a reconhecer que a sustentabilidade não depende apenas da redução dos impactos negativos da atividade agrícola. Os estudos também destacaram a necessidade de restaurar a funcionalidade dos agroecossistemas. Essa mudança ampliou o papel da agricultura regenerativa nas discussões sobre desenvolvimento sustentável e adaptação às mudanças climáticas (Rhodes, 2017; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

O conceito também evoluiu com a incorporação de novas evidências científicas. As pesquisas passaram a avaliar indicadores relacionados ao sequestro de carbono, à biodiversidade, à qualidade do solo e à resiliência dos sistemas produtivos. Esses indicadores ampliaram a compreensão dos benefícios associados às práticas regenerativas. Essa evolução aproximou a agricultura regenerativa de outras abordagens sustentáveis, como a agroecologia, a agricultura conservacionista e os sistemas integrados de produção (Dittmer *et al.*, 2023; Teng *et al.*, 2024; Krause *et al.*, 2024).

Nos últimos anos, o interesse científico pela agricultura regenerativa apresentou crescimento expressivo. Esse crescimento ocorreu em diferentes regiões do mundo. Os estudos passaram a investigar aspectos ambientais, econômicos e sociais de forma integrada. As pesquisas também analisaram a contribuição dessas práticas para a

segurança alimentar, a mitigação das mudanças climáticas e o desenvolvimento rural sustentável. Essa ampliação consolidou a agricultura regenerativa como um dos principais temas da agenda científica voltada à sustentabilidade agrícola (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

Apesar desse avanço, a evolução do conceito permanece em construção. A literatura ainda apresenta diferentes interpretações sobre seus limites e aplicações. Alguns estudos enfatizam a recuperação do solo. Outros priorizam a captura de carbono, a biodiversidade ou a resiliência climática. Entretanto, observa-se crescente convergência quanto ao entendimento de que a agricultura regenerativa representa uma abordagem integrada, capaz de promover a recuperação dos ecossistemas agrícolas e fortalecer a sustentabilidade dos sistemas de produção (Loring, 2022; Storkey *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

2.1.3. Princípios Ecológicos da Agricultura Regenerativa

Os princípios ecológicos constituem a base da agricultura regenerativa. Esses princípios orientam o manejo dos agroecossistemas e promovem a recuperação dos processos naturais. Essa abordagem busca fortalecer a capacidade dos ecossistemas de manter suas funções ecológicas ao longo do tempo. O objetivo consiste em produzir alimentos sem comprometer a integridade ambiental dos sistemas agrícolas (Rhodes, 2017; Loring, 2022; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A saúde do solo representa um dos principais fundamentos desse modelo produtivo. O solo sustenta o crescimento das plantas e regula diversos processos ecológicos. A matéria orgânica melhora a

estrutura do solo. A matéria orgânica também aumenta a retenção de água e favorece a disponibilidade de nutrientes. A atividade biológica intensifica a ciclagem de nutrientes e fortalece a estabilidade dos agroecossistemas (Jat *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A cobertura permanente do solo constitui outro princípio essencial da agricultura regenerativa. A cobertura vegetal reduz a erosão. A cobertura vegetal também diminui a perda de água por evaporação. Esse manejo protege os organismos do solo e favorece o acúmulo de carbono orgânico. Esses efeitos contribuem para a manutenção da fertilidade e da produtividade agrícola (Krause *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

A diversidade biológica fortalece o equilíbrio ecológico dos sistemas agrícolas. A diversificação de culturas amplia as interações entre organismos. Essa estratégia reduz a vulnerabilidade dos cultivos a pragas e doenças. Essa estratégia também favorece a estabilidade da produção ao longo do tempo. A integração entre diferentes espécies vegetais e animais aumenta a eficiência do uso dos recursos naturais e amplia a oferta de serviços ecossistêmicos (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

O revolvimento mínimo do solo também caracteriza a agricultura regenerativa. Esse manejo preserva a estrutura física do solo. Esse manejo reduz a oxidação da matéria orgânica e diminui as perdas de carbono para a atmosfera. A menor perturbação favorece o desenvolvimento da fauna edáfica e melhora o funcionamento dos processos biológicos responsáveis pela fertilidade do solo (Jat *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A integração entre os componentes do agroecossistema representa outro princípio ecológico relevante. As plantas interagem com os microrganismos do solo. Os microrganismos favorecem a decomposição da matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes. Os recursos hídricos também participam desse equilíbrio ecológico. Essas interações aumentam a resiliência dos sistemas agrícolas diante das alterações climáticas e de outros estresses ambientais (Hamidov *et al.*, 2018; Dittmer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024).

Os princípios ecológicos da agricultura regenerativa atuam de forma integrada. Cada princípio potencializa os efeitos dos demais. Essa interação favorece a recuperação da funcionalidade dos agroecossistemas. Essa interação também amplia a sustentabilidade ambiental, econômica e social da produção agrícola. Por essa razão, a literatura reconhece esses princípios como elementos essenciais para a construção de sistemas produtivos mais resilientes e capazes de responder aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente demanda por alimentos (Pe'er *et al.*, 2020; Storkey *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.1.4. Diferenças Entre Agricultura Regenerativa, Agricultura Sustentável, Agricultura Conservacionista e Agricultura Convencional

Os sistemas agrícolas apresentam diferentes objetivos e estratégias de manejo. Cada abordagem adota princípios específicos para organizar a produção e utilizar os recursos naturais. Essas diferenças influenciam os resultados ambientais, econômicos e sociais obtidos em cada modelo de produção (Rhodes, 2017; Pe'er *et al.*, 2020).

A agricultura convencional prioriza o aumento da produtividade agrícola. Esse modelo utiliza elevada mecanização, fertilizantes sintéticos e defensivos químicos. O manejo intensivo também emprega preparo frequente do solo e monoculturas em larga escala. Essas práticas ampliam a produção em curto prazo. Entretanto, essas práticas podem intensificar a degradação do solo, reduzir a biodiversidade e aumentar as emissões de gases de efeito estufa quando adotadas de forma inadequada (Smith *et al.*, 2019; Pe'er *et al.*, 2020; Seppelt *et al.*, 2022).

A agricultura sustentável apresenta uma proposta mais ampla. Essa abordagem busca equilibrar produção agrícola, conservação ambiental e viabilidade econômica. O modelo procura reduzir os impactos negativos da atividade agrícola e promover o uso racional dos recursos naturais. A sustentabilidade representa seu principal objetivo. Entretanto, essa abordagem nem sempre exige a recuperação ativa dos ecossistemas degradados (Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A agricultura conservacionista concentra seus esforços na proteção do solo. Esse sistema baseia-se no revolvimento mínimo do solo, na cobertura permanente da superfície e na rotação de culturas. Esses princípios reduzem a erosão, preservam a umidade e favorecem o acúmulo de matéria orgânica. A agricultura conservacionista melhora a qualidade física e biológica do solo. Contudo, seu foco permanece direcionado principalmente à conservação dos recursos edáficos (Jat *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025).

A agricultura regenerativa amplia o escopo dessas abordagens. Esse modelo busca conservar os recursos naturais e restaurar sua funcionalidade. A proposta inclui a recuperação da saúde do solo, o

fortalecimento da biodiversidade, a ampliação dos serviços ecossistêmicos e o aumento do sequestro de carbono. O manejo regenerativo também fortalece a resiliência dos agroecossistemas diante das mudanças climáticas. Dessa forma, a regeneração dos processos ecológicos constitui seu principal diferencial (Loring, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

As quatro abordagens apresentam pontos de convergência. Todas reconhecem a importância da produção de alimentos e da utilização eficiente dos recursos naturais. Entretanto, elas diferem quanto à intensidade das intervenções e aos objetivos ecológicos pretendidos. A agricultura convencional enfatiza a produtividade. A agricultura sustentável busca o equilíbrio entre produção e conservação. A agricultura conservacionista prioriza a proteção do solo. A agricultura regenerativa procura restaurar a funcionalidade dos agroecossistemas e promover melhorias ambientais contínuas (Rhodes, 2017; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Opatski, 2025).

Essas abordagens não devem ser interpretadas como modelos totalmente excludentes. Muitos sistemas agrícolas incorporam práticas pertencentes a mais de uma dessas estratégias. A integração dessas práticas pode ampliar a eficiência produtiva e reduzir impactos ambientais. Entretanto, a agricultura regenerativa distingue-se por estabelecer a regeneração dos ecossistemas como finalidade central do processo produtivo, e não apenas como consequência desejável do manejo agrícola (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.1.5. Tendências Atuais da Agricultura Regenerativa

A agricultura regenerativa ocupa posição de destaque nas pesquisas sobre sustentabilidade agrícola. O interesse científico pela temática aumentou de forma significativa nos últimos anos. Esse crescimento acompanha a necessidade de desenvolver sistemas produtivos capazes de enfrentar as mudanças climáticas e preservar os recursos naturais. A literatura também evidencia maior integração entre agricultura regenerativa, agroecologia e desenvolvimento sustentável (Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

As pesquisas atuais priorizam abordagens integradas de manejo. Os estudos avaliam simultaneamente indicadores ambientais, produtivos, econômicos e sociais. Essa perspectiva amplia a compreensão sobre os efeitos das práticas regenerativas nos agroecossistemas. Essa abordagem também favorece análises mais consistentes sobre a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Storkey *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

O sequestro de carbono representa uma das principais linhas de investigação. Os pesquisadores analisam a capacidade dos solos agrícolas de armazenar carbono por longos períodos. Os estudos também investigam estratégias para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e aumentar a resiliência climática dos sistemas produtivos. Esses resultados reforçam o potencial da agricultura regenerativa como ferramenta de mitigação das mudanças climáticas (Teng *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

A saúde do solo permanece como prioridade científica. As pesquisas avaliam atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Os estudos também investigam a dinâmica da matéria orgânica, da microbiota

e da ciclagem de nutrientes. Essas informações auxiliam na compreensão dos mecanismos responsáveis pela estabilidade e pela produtividade dos agroecossistemas regenerativos (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025).

A biodiversidade também recebe atenção crescente. Os pesquisadores investigam a contribuição da diversidade biológica para a estabilidade ecológica dos sistemas agrícolas. Os estudos analisam a interação entre plantas, microrganismos, insetos e demais organismos presentes no agroecossistema. Essas pesquisas demonstram que o fortalecimento dessas interações favorece a regulação natural de pragas, melhora a qualidade do solo e amplia a oferta de serviços ecossistêmicos (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

As pesquisas recentes também ampliam a análise dos aspectos sociais e econômicos da agricultura regenerativa. Os estudos investigam fatores que influenciam a adoção dessas práticas pelos produtores rurais. Os pesquisadores analisam barreiras institucionais, incentivos econômicos, assistência técnica e políticas públicas. Esses fatores exercem influência direta sobre a expansão dos sistemas regenerativos em diferentes contextos agrícolas (Musafiri *et al.*, 2022; Ogutu *et al.*, 2025; Souissi *et al.*, 2024).

Outra tendência importante consiste na integração entre agricultura regenerativa e sistemas alimentares sustentáveis. Os estudos relacionam a produção agrícola à qualidade nutricional dos alimentos, à segurança alimentar e à saúde humana. Essa perspectiva amplia o alcance da agricultura regenerativa e reforça sua contribuição para o desenvolvimento sustentável em escala global (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Seppelt *et al.*, 2022).

A literatura também demonstra crescente interesse pela construção de indicadores capazes de mensurar os resultados da agricultura regenerativa. Os pesquisadores propõem métricas relacionadas à saúde do solo, ao estoque de carbono, à biodiversidade, à produtividade e à sustentabilidade socioambiental. A padronização desses indicadores pode aumentar a comparabilidade entre estudos e fortalecer a produção de evidências científicas. Essa tendência representa um passo importante para consolidar a agricultura regenerativa como uma abordagem científica robusta e aplicável em diferentes sistemas agrícolas (Storkey *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Opatski, 2025).

2.2. Agroecologia: Fundamentos Científicos e Aplicações na Produção Agrícola

A agroecologia constitui uma abordagem científica voltada ao estudo e ao manejo sustentável dos agroecossistemas. Essa abordagem integra princípios ecológicos, conhecimentos científicos e saberes tradicionais. Seu objetivo consiste em promover sistemas agrícolas capazes de produzir alimentos e, simultaneamente, conservar os recursos naturais. A agroecologia também busca fortalecer a sustentabilidade ambiental, econômica e social da produção agrícola (Brumer *et al.*, 2023; Kliem, 2022; Souissi *et al.*, 2024).

Os fundamentos científicos da agroecologia baseiam-se na Ecologia. Essa ciência explica as relações entre os organismos vivos e o ambiente. A agroecologia utiliza esses conhecimentos para compreender o funcionamento dos sistemas agrícolas. Essa abordagem considera o solo, as plantas, os animais, os microrganismos e os recursos hídricos como componentes

interdependentes de um mesmo sistema. Essas interações determinam a estabilidade ecológica e a capacidade produtiva dos agroecossistemas (Röös *et al.*, 2022; Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024).

A biodiversidade representa um dos principais fundamentos da agroecologia. A diversidade de espécies fortalece o equilíbrio ecológico. A diversidade também reduz a vulnerabilidade dos sistemas agrícolas frente a pragas, doenças e eventos climáticos extremos. Os sistemas diversificados favorecem a ciclagem de nutrientes, a polinização e o controle biológico. Esses processos ampliam a eficiência ecológica da produção agrícola (Kliem, 2022; Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025).

O solo ocupa posição central na agroecologia. O solo fornece suporte físico às plantas. O solo também armazena água, nutrientes e organismos essenciais ao funcionamento dos agroecossistemas. A manutenção da matéria orgânica e da atividade biológica melhora a fertilidade do solo e favorece o desenvolvimento das culturas. Esses processos reduzem a dependência de fertilizantes sintéticos e aumentam a estabilidade produtiva (Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A agroecologia também valoriza o uso eficiente dos recursos naturais. Essa abordagem incentiva a redução do desperdício de água, energia e insumos agrícolas. O manejo agroecológico estimula processos naturais de reciclagem de nutrientes e conservação ambiental. Essas práticas diminuem os impactos ambientais da produção agrícola e fortalecem a resiliência dos sistemas produtivos (Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Storkey *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024).

As aplicações da agroecologia abrangem diferentes sistemas de produção. Os agricultores utilizam rotação de culturas, cobertura permanente do solo, adubação verde, sistemas agroflorestais e manejo ecológico de pragas. Essas práticas favorecem a conservação da biodiversidade e aumentam a qualidade ambiental dos agroecossistemas. Essas práticas também contribuem para a recuperação de áreas degradadas e para a melhoria da produtividade agrícola em longo prazo (Duddigan *et al.*, 2023; Mulungu *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024).

A agroecologia também fortalece o desenvolvimento rural sustentável. Essa abordagem incentiva a participação das comunidades locais e valoriza os conhecimentos tradicionais. A integração entre ciência e experiência prática amplia a capacidade de adaptação dos sistemas agrícolas às condições ambientais e socioeconômicas de cada região. Esse processo favorece a construção de sistemas alimentares mais resilientes e inclusivos (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

Consta crescente aproximação entre agroecologia e agricultura regenerativa. As duas abordagens compartilham princípios relacionados à conservação do solo, à biodiversidade e à sustentabilidade da produção agrícola. Ambas também reconhecem a importância dos processos ecológicos para o funcionamento dos agroecossistemas. Essa convergência fortalece a utilização dessas estratégias como alternativas para enfrentar as mudanças climáticas, conservar os recursos naturais e promover a segurança alimentar em escala global (Röös *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.2.1. Conceitos Fundamentais da Agroecologia

A agroecologia constitui uma área científica dedicada ao estudo dos agroecossistemas. Essa abordagem aplica princípios ecológicos ao planejamento, ao manejo e à avaliação da produção agrícola. Seu objetivo consiste em integrar produtividade, conservação ambiental e desenvolvimento social. A agroecologia também promove sistemas agrícolas capazes de manter o equilíbrio entre os componentes bióticos e abióticos do ambiente (Brumer *et al.*, 2023; Rööß *et al.*, 2022; Souissi *et al.*, 2024).

A agroecologia compreende o sistema agrícola como um ecossistema integrado. Essa perspectiva considera o solo, as plantas, os animais, os microrganismos e os recursos hídricos como elementos interdependentes. Cada componente exerce funções específicas no funcionamento do agroecossistema. A interação entre esses componentes determina a estabilidade ecológica, a produtividade e a sustentabilidade do sistema agrícola (Kliem, 2022; Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024).

Os processos ecológicos representam a base do manejo agroecológico. A ciclagem de nutrientes mantém a fertilidade do solo. A matéria orgânica melhora a estrutura física e biológica do solo. A biodiversidade fortalece as interações ecológicas e amplia a estabilidade do sistema produtivo. Esses processos reduzem a dependência de insumos externos e favorecem a autorregulação dos agroecossistemas (Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A diversidade biológica ocupa posição central na agroecologia. A diversificação de espécies aumenta a resiliência dos sistemas agrícolas. Essa estratégia reduz a incidência de pragas e doenças. Essa estratégia também favorece a polinização, o controle biológico

e a conservação dos recursos naturais. Esses benefícios ampliam a eficiência ecológica da produção agrícola (Dittmer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025).

A agroecologia também valoriza os conhecimentos produzidos pelas comunidades rurais. Essa abordagem reconhece a importância dos saberes tradicionais na construção de sistemas produtivos sustentáveis. A integração entre conhecimento científico e experiência local favorece o desenvolvimento de práticas adaptadas às características ambientais e culturais de cada território. Esse processo fortalece a sustentabilidade da produção agrícola e contribui para o desenvolvimento rural (Brumer *et al.*, 2023; Kliem, 2022; Souissi *et al.*, 2024).

A sustentabilidade constitui outro conceito fundamental da agroecologia. Essa abordagem busca equilibrar objetivos ambientais, sociais e econômicos. O manejo agroecológico procura conservar os recursos naturais, garantir a produção de alimentos e promover melhores condições de vida para as populações rurais. Essa perspectiva amplia a capacidade dos sistemas agrícolas de responder às mudanças climáticas e aos desafios relacionados à segurança alimentar (Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022).

Torna-se evidente uma crescente convergência entre agroecologia e agricultura regenerativa. Ambas as abordagens priorizam o funcionamento dos processos ecológicos e a recuperação da qualidade ambiental dos agroecossistemas. Ambas também incentivam práticas que fortalecem a biodiversidade, a saúde do solo e a resiliência dos sistemas produtivos. Essa convergência evidencia o papel da agroecologia como fundamento científico para

a construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis e resilientes (Röös *et al.*, 2022; Storkey *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.2.2. Bases Ecológicas da Produção Agroecológica

A produção agroecológica fundamenta-se nos princípios da Ecologia. Esses princípios orientam o funcionamento dos agroecossistemas e favorecem o equilíbrio entre seus componentes. A produção agroecológica considera que o solo, as plantas, os animais, os microrganismos e os recursos hídricos formam um sistema integrado. As interações entre esses componentes determinam a estabilidade ecológica e a sustentabilidade da produção agrícola (Brumer *et al.*, 2023; Röös *et al.*, 2022; Storkey *et al.*, 2024).

A biodiversidade representa uma das principais bases ecológicas da agroecologia. A diversidade de espécies aumenta a complexidade dos agroecossistemas. Essa característica favorece a complementaridade entre organismos. Essa interação reduz a ocorrência de desequilíbrios ecológicos e fortalece a capacidade natural de adaptação dos sistemas agrícolas. Os sistemas diversificados também apresentam maior resistência a pragas, doenças e eventos climáticos extremos (Dittmer *et al.*, 2023; Kliem, 2022; Rosier *et al.*, 2025).

O solo desempenha papel central na produção agroecológica. O solo fornece suporte físico às plantas. O solo também participa da ciclagem de nutrientes, da retenção de água e do armazenamento de carbono. A matéria orgânica melhora a estrutura do solo e favorece a atividade biológica. Esses processos aumentam a

fertilidade natural e reduzem a necessidade de insumos externos (Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A ciclagem de nutrientes constitui outro princípio ecológico essencial. Os resíduos vegetais retornam ao solo. Os microrganismos decompõem essa matéria orgânica. Esse processo libera nutrientes para as plantas. Esse mecanismo reduz perdas de fertilidade e melhora a eficiência do uso dos recursos naturais. A reciclagem contínua dos nutrientes fortalece a estabilidade dos agroecossistemas ao longo do tempo (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025).

As interações biológicas também sustentam a produção agroecológica. Os microrganismos estabelecem relações com as raízes das plantas. Essas relações favorecem a absorção de água e nutrientes. Os insetos polinizadores contribuem para a reprodução vegetal. Os inimigos naturais auxiliam no controle das populações de pragas. Essas interações reduzem a dependência de insumos químicos e fortalecem os mecanismos naturais de autorregulação dos agroecossistemas (Dittmer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024).

O uso eficiente dos recursos naturais caracteriza outro fundamento ecológico da agroecologia. O manejo agroecológico busca conservar a água, o solo e a biodiversidade. Essa abordagem também procura reduzir desperdícios e reaproveitar recursos disponíveis no próprio sistema produtivo. Essas estratégias aumentam a eficiência ecológica da produção agrícola e diminuem os impactos ambientais da atividade rural (Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Souissi *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024).

A produção agroecológica também reconhece a dinâmica dos ecossistemas. Os agroecossistemas permanecem em constante transformação. As práticas de manejo devem acompanhar essas mudanças. O monitoramento contínuo permite ajustes compatíveis com as condições ambientais locais. Essa capacidade de adaptação fortalece a resiliência dos sistemas agrícolas frente às mudanças climáticas e às pressões ambientais (Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022; Storkey *et al.*, 2024).

As bases ecológicas da agroecologia favorecem a construção de sistemas produtivos mais equilibrados. Esses fundamentos aumentam a estabilidade ecológica, preservam os recursos naturais e promovem a sustentabilidade da produção agrícola. Esses princípios também aproximam a agroecologia da agricultura regenerativa, pois ambas compartilham a valorização dos processos ecológicos como elemento central para o desenvolvimento de agroecossistemas resilientes e sustentáveis (Röös *et al.*, 2022; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Opatski, 2025).

2.2.3. Princípios Agroecológicos Aplicados aos Sistemas Produtivos

Os princípios agroecológicos orientam a organização dos sistemas produtivos. Esses princípios buscam fortalecer os processos ecológicos naturais. Essa abordagem reduz a dependência de insumos externos e amplia a sustentabilidade da produção agrícola. O manejo agroecológico também favorece a estabilidade dos agroecossistemas ao longo do tempo (Brumer *et al.*, 2023; Röös *et al.*, 2022; Souissi *et al.*, 2024).

A diversidade biológica representa um dos principais princípios da agroecologia. A diversificação de culturas aumenta a complexidade dos sistemas agrícolas. Essa prática melhora a utilização dos recursos naturais. Essa prática também reduz a vulnerabilidade dos cultivos às pragas, às doenças e aos eventos climáticos extremos. Os sistemas diversificados apresentam maior capacidade de adaptação às alterações ambientais (Kliem, 2022; Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025).

A conservação do solo constitui outro princípio fundamental. O manejo agroecológico mantém a cobertura permanente da superfície. Essa prática reduz a erosão e protege a matéria orgânica. O manejo também favorece a infiltração de água e melhora a estrutura física do solo. Esses processos aumentam a fertilidade natural e sustentam a produtividade agrícola em longo prazo (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024).

A ciclagem de nutrientes fortalece o funcionamento dos agroecossistemas. Os resíduos vegetais retornam ao solo. Os microrganismos promovem a decomposição dessa matéria orgânica. Esse processo disponibiliza nutrientes para as plantas e reduz perdas de fertilidade. A reciclagem contínua diminui a necessidade de fertilizantes sintéticos e melhora a eficiência do sistema produtivo (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025).

O uso eficiente da água também caracteriza os sistemas agroecológicos. O manejo conservacionista aumenta a infiltração e reduz o escoamento superficial. A cobertura vegetal diminui a evaporação e preserva a umidade do solo. Essas práticas favorecem a produção agrícola mesmo em períodos de menor disponibilidade

hídrica. Essa condição amplia a resiliência dos agroecossistemas diante das mudanças climáticas (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

As interações biológicas desempenham papel essencial na agroecologia. Os inimigos naturais auxiliam no controle das populações de pragas. Os microrganismos favorecem a absorção de nutrientes pelas plantas. Os polinizadores contribuem para a reprodução das culturas agrícolas. Essas interações fortalecem os mecanismos naturais de autorregulação e reduzem a necessidade de defensivos químicos (Dittmer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024).

A integração entre diferentes componentes produtivos amplia a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. A associação entre culturas, árvores e, quando aplicável, animais favorece o aproveitamento dos recursos disponíveis. Essa integração melhora a eficiência ecológica do sistema e reduz desperdícios. O manejo integrado também aumenta a estabilidade produtiva e fortalece os serviços ecossistêmicos (Paul *et al.*, 2020; Van Selm *et al.*, 2023; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A adaptação às condições locais constitui outro princípio importante. O manejo agroecológico considera as características do clima, do solo e da biodiversidade de cada região. Essa abordagem também valoriza os conhecimentos das comunidades rurais. Essa integração favorece o desenvolvimento de sistemas produtivos mais eficientes e resilientes. Os sistemas tornam-se mais preparados para enfrentar mudanças ambientais e socioeconômicas (Brumer *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024).

A aplicação integrada desses princípios fortalece a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Cada princípio atua de forma complementar aos demais. Essa interação aumenta a eficiência ecológica, reduz impactos ambientais e melhora a capacidade de adaptação dos agroecossistemas. Por essa razão, a literatura reconhece os princípios agroecológicos como elementos essenciais para o desenvolvimento de sistemas agrícolas resilientes, produtivos e ambientalmente equilibrados (Rahman *et al.*, 2024; Storkey *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.2.4. Integração Entre Agroecologia e Agricultura Regenerativa

A agroecologia e a agricultura regenerativa apresentam elevada convergência conceitual. Ambas as abordagens utilizam princípios ecológicos para orientar o manejo dos agroecossistemas. Ambas também buscam integrar produção agrícola, conservação ambiental e desenvolvimento sustentável. Esse alinhamento fortalece a adoção de sistemas produtivos mais resilientes e eficientes (Brumer *et al.*, 2023; Loring, 2022; Opatski, 2025).

A conservação do solo constitui um dos principais pontos de integração entre essas abordagens. A agroecologia incentiva práticas que preservam a estrutura e a fertilidade do solo. A agricultura regenerativa amplia esse objetivo ao promover a recuperação das funções ecológicas do ambiente edáfico. As duas estratégias estimulam a cobertura permanente do solo, a redução do revolvimento e o aumento da matéria orgânica. Essas práticas favorecem a retenção de água, a ciclagem de nutrientes e o sequestro de carbono (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024).

A biodiversidade também representa um elemento comum entre os dois modelos. A agroecologia promove a diversificação de culturas e o fortalecimento das interações ecológicas. A agricultura regenerativa utiliza esses mesmos processos para restaurar a funcionalidade dos agroecossistemas. A diversidade biológica melhora o equilíbrio ecológico e aumenta a estabilidade dos sistemas agrícolas. Esse processo reduz a vulnerabilidade às pragas, às doenças e aos eventos climáticos extremos (Kliem, 2022; Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025).

Os processos biológicos sustentam a integração entre agroecologia e agricultura regenerativa. Os microrganismos participam da decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes. As plantas estabelecem interações com esses organismos e utilizam os nutrientes disponibilizados. Essas relações fortalecem a fertilidade do solo e reduzem a dependência de insumos externos. Esse funcionamento aproxima as duas abordagens sob a perspectiva ecológica (Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

As duas abordagens também compartilham objetivos relacionados às mudanças climáticas. Ambas incentivam práticas capazes de aumentar o estoque de carbono no solo e reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Ambas promovem sistemas produtivos mais resilientes diante das alterações climáticas. Essas estratégias fortalecem a capacidade adaptativa dos agroecossistemas e contribuem para a sustentabilidade da produção agrícola (Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022; Teng *et al.*, 2024).

A dimensão social aproxima ainda mais essas abordagens. A agroecologia valoriza os conhecimentos tradicionais e a participação das comunidades rurais. A agricultura regenerativa também

reconhece a importância da adaptação das práticas às condições locais. As duas estratégias incentivam modelos produtivos compatíveis com o desenvolvimento rural sustentável e com o fortalecimento da segurança alimentar (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

Apesar das convergências, algumas diferenças permanecem. A agroecologia apresenta uma abordagem mais ampla e incorpora dimensões sociais, culturais e políticas de forma explícita. A agricultura regenerativa concentra maior atenção na recuperação funcional dos ecossistemas e na restauração dos processos ecológicos. Essas diferenças, entretanto, não representam oposição entre os modelos. Ao contrário, elas ampliam as possibilidades de integração entre ambas as abordagens (Loring, 2022; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Opatski, 2025).

A integração entre agroecologia e agricultura regenerativa fortalece a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Essa integração amplia a eficiência ecológica do manejo agrícola. Essa integração também favorece a conservação dos recursos naturais, a estabilidade da produção e a adaptação às mudanças climáticas. Dessa forma, as duas abordagens constituem referenciais científicos complementares para o desenvolvimento de agroecossistemas mais resilientes, produtivos e ambientalmente sustentáveis (Röös *et al.*, 2022; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

2.2.5. Importância da Agroecologia para o Desenvolvimento Rural Sustentável

A agroecologia desempenha papel estratégico no desenvolvimento rural sustentável. Essa abordagem integra produção agrícola,

conservação ambiental e inclusão social. Essa integração fortalece a permanência das atividades produtivas no meio rural e amplia a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. A agroecologia também promove maior equilíbrio entre os recursos naturais e as necessidades das comunidades rurais (Brumer *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A diversificação dos sistemas produtivos fortalece a sustentabilidade rural. A diversificação reduz a dependência de uma única cultura agrícola. Essa estratégia amplia as fontes de renda e diminui os riscos associados às oscilações climáticas e de mercado. Os sistemas diversificados também favorecem a estabilidade da produção e melhoram o aproveitamento dos recursos naturais disponíveis (Gora *et al.*, 2022; Mulungu; Kangogo, 2022; Mihrete; Mihretu, 2025).

A agroecologia também contribui para a conservação dos recursos naturais. O manejo agroecológico protege o solo, a água e a biodiversidade. Essas práticas preservam os processos ecológicos responsáveis pela produtividade agrícola. Esses benefícios aumentam a resiliência dos agroecossistemas diante das mudanças climáticas e reduzem a degradação ambiental (Dittmer *et al.*, 2023; Teng *et al.*, 2024; Storkey *et al.*, 2024).

O desenvolvimento rural sustentável depende da participação das comunidades locais. A agroecologia valoriza os conhecimentos tradicionais e incentiva a construção coletiva de soluções para os desafios da produção agrícola. Essa abordagem fortalece a autonomia dos agricultores e amplia a capacidade de adaptação dos sistemas produtivos às características ambientais e culturais de cada território (Kliem, 2022; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

A agroecologia também favorece a segurança alimentar. Os sistemas agroecológicos promovem a produção diversificada de alimentos. Essa produção amplia a disponibilidade de alimentos e melhora sua qualidade nutricional. A maior estabilidade produtiva fortalece os sistemas alimentares locais e reduz a vulnerabilidade das comunidades rurais frente às mudanças ambientais e econômicas (Röös *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

As políticas públicas exercem papel importante na expansão da agroecologia. Os incentivos institucionais facilitam a adoção de práticas sustentáveis. A assistência técnica e a extensão rural também contribuem para a difusão do conhecimento agroecológico. Esses instrumentos fortalecem a capacidade dos produtores de implementar sistemas agrícolas mais eficientes e resilientes (Musafiri *et al.*, 2022; Ogutu *et al.*, 2025; Wardle *et al.*, 2024).

A agroecologia produz benefícios ambientais, sociais e econômicos de forma integrada. Essa abordagem melhora a conservação dos recursos naturais. Essa abordagem fortalece a produção agrícola e favorece o desenvolvimento das comunidades rurais. Esses resultados aproximam a agroecologia dos princípios da agricultura regenerativa e reforçam seu potencial para promover sistemas produtivos sustentáveis em diferentes contextos agrícolas (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.3. Agricultura Regenerativa e Mitigação das Mudanças Climáticas

As mudanças climáticas representam um dos principais desafios para a agricultura contemporânea. O aumento da temperatura

global altera o funcionamento dos agroecossistemas. Os eventos climáticos extremos reduzem a estabilidade da produção agrícola e aumentam a vulnerabilidade dos recursos naturais. Esse cenário exige estratégias capazes de reduzir emissões de gases de efeito estufa e fortalecer a adaptação dos sistemas produtivos (Seppelt *et al.*, 2022; Gashure, 2024; Gashure, 2025).

A agricultura regenerativa destaca-se como uma dessas estratégias. Essa abordagem utiliza práticas que favorecem a recuperação dos processos ecológicos e a conservação dos recursos naturais. O manejo regenerativo também amplia a capacidade dos agroecossistemas de responder às alterações climáticas. Esses benefícios decorrem da integração entre conservação do solo, biodiversidade, ciclagem de nutrientes e manejo sustentável da água (Rhodes, 2017; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Opatski, 2025).

O sequestro de carbono constitui um dos principais mecanismos de mitigação promovidos pela agricultura regenerativa. As práticas conservacionistas aumentam o acúmulo de carbono na matéria orgânica do solo. Esse processo reduz a concentração de dióxido de carbono na atmosfera. O aumento do carbono orgânico também melhora a fertilidade do solo e favorece a estabilidade dos sistemas agrícolas (Jat *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2024; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

A conservação do solo também contribui para a mitigação climática. A cobertura permanente reduz a erosão e protege a matéria orgânica. O revolvimento mínimo preserva a estrutura física do solo e diminui as perdas de carbono. Essas práticas fortalecem a atividade biológica e aumentam a eficiência dos processos

ecológicos responsáveis pela manutenção da fertilidade (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025).

A biodiversidade fortalece a resiliência dos agroecossistemas. Os sistemas diversificados apresentam maior estabilidade ecológica. Esses sistemas também respondem melhor às variações climáticas. A diversidade de espécies melhora a utilização dos recursos naturais e reduz a vulnerabilidade das culturas a estresses ambientais. Esses benefícios favorecem a continuidade da produção agrícola em diferentes condições climáticas (Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A agricultura regenerativa também reduz emissões de gases de efeito estufa. O manejo eficiente do solo diminui perdas de carbono para a atmosfera. A redução do uso intensivo de insumos sintéticos também contribui para menor emissão associada ao processo produtivo. Essas estratégias aproximam os sistemas agrícolas das metas internacionais de sustentabilidade e mitigação climática (Smith *et al.*, 2019; Dioha; Kumar, 2020; Shakoore *et al.*, 2024).

A gestão sustentável da água representa outro componente importante dessa abordagem. O aumento da matéria orgânica melhora a infiltração e o armazenamento de água no solo. Essa condição reduz os efeitos de períodos de estiagem e favorece o desenvolvimento das culturas. A maior disponibilidade hídrica fortalece a adaptação dos agroecossistemas às mudanças climáticas (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A literatura também demonstra que práticas regenerativas podem manter ou ampliar a produtividade agrícola sob condições ambientais adversas. Os estudos relatam melhorias na qualidade do

solo, maior estabilidade da produção e aumento da eficiência do uso dos recursos naturais. Esses resultados indicam que a mitigação das mudanças climáticas pode ocorrer de forma simultânea ao fortalecimento da segurança alimentar e da sustentabilidade socioambiental (Dittmer *et al.*, 2023; Krause *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Apesar dos avanços observados, a literatura ainda identifica desafios importantes. Os estudos utilizam indicadores distintos para mensurar os efeitos das práticas regenerativas sobre as mudanças climáticas. Essa heterogeneidade dificulta comparações entre pesquisas e limita a padronização das evidências científicas. Mesmo assim, observa-se consenso crescente de que a agricultura regenerativa constitui uma estratégia promissora para reduzir impactos climáticos e aumentar a resiliência dos sistemas agrícolas frente aos desafios ambientais do século XXI (Rahman *et al.*, 2024; Storkey *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

2.3.1. Mudanças Climáticas e Agricultura

As mudanças climáticas modificam as condições ambientais que sustentam a produção agrícola. O aumento da temperatura altera os ciclos biológicos das culturas. As alterações no regime de chuvas modificam a disponibilidade de água para as plantas. Os eventos climáticos extremos tornam-se mais frequentes e intensos. Esses processos comprometem a estabilidade dos sistemas agrícolas e aumentam a vulnerabilidade da produção de alimentos (Seppelt *et al.*, 2022; Gashure, 2024; Gashure, 2025).

A agricultura depende diretamente das condições climáticas. A produtividade das culturas varia conforme a temperatura, a

precipitação e a disponibilidade hídrica. As alterações desses fatores afetam o crescimento das plantas e reduzem a eficiência dos sistemas produtivos. As perdas agrícolas aumentam durante períodos prolongados de seca, ondas de calor ou precipitações intensas (Clay; Zimmerer, 2020; Williams; Carrico, 2017; Majumder *et al.*, 2024).

As mudanças climáticas também afetam a qualidade dos recursos naturais. O aumento da temperatura acelera a perda de umidade do solo. As chuvas intensas favorecem processos erosivos e aumentam a degradação das áreas cultivadas. Essas alterações reduzem a fertilidade do solo e comprometem sua capacidade de armazenar água e carbono. Esses efeitos diminuem a sustentabilidade da produção agrícola em longo prazo (Hamidov *et al.*, 2018; Jat *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2024).

Os impactos climáticos também influenciam a biodiversidade agrícola. As alterações ambientais modificam a distribuição de espécies vegetais e animais. Essas mudanças afetam organismos polinizadores, inimigos naturais e microrganismos do solo. A redução dessas interações ecológicas compromete processos essenciais para o funcionamento dos agroecossistemas e aumenta a vulnerabilidade das culturas (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A agricultura também contribui para as mudanças climáticas. O setor emite gases de efeito estufa provenientes do manejo do solo, do uso de fertilizantes, da produção pecuária e das mudanças no uso da terra. Essas emissões intensificam o aquecimento global e ampliam os desafios enfrentados pelos próprios sistemas agrícolas. Esse cenário demonstra a existência de uma relação bidirecional

entre agricultura e clima (Smith *et al.*, 2019; Dioha; Kumar, 2020; Xu *et al.*, 2023).

Os produtores rurais respondem a esses desafios por meio de diferentes estratégias de adaptação. Muitos sistemas agrícolas adotam práticas voltadas à conservação do solo, ao uso eficiente da água e à diversificação da produção. Essas medidas aumentam a capacidade de resposta dos agroecossistemas diante das alterações climáticas. Essas práticas também reduzem os riscos associados à variabilidade ambiental (Gebru; Ichoku; Phil-Eze, 2020; Musafiri *et al.*, 2022; Tilahun; Bantider; Yayeh, 2023).

A adaptação e a mitigação devem ocorrer de forma integrada. Os sistemas agrícolas precisam reduzir suas emissões e aumentar sua resiliência simultaneamente. Essa estratégia fortalece a sustentabilidade da produção de alimentos e reduz os impactos ambientais da atividade agrícola. Nesse contexto, abordagens como a agricultura regenerativa e a agroecologia ganham relevância por promoverem práticas compatíveis com esses dois objetivos (Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Opatski, 2025).

2.3.2. Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor Agrícola

O setor agrícola constitui uma importante fonte de emissão de gases de efeito estufa. As atividades agropecuárias liberam dióxido de carbono, metano e óxido nitroso para a atmosfera. Essas emissões resultam do manejo do solo, da produção animal, do uso de fertilizantes nitrogenados e das mudanças no uso da terra. Esses processos contribuem para o aquecimento global e intensificam as

mudanças climáticas (Smith *et al.*, 2019; Dioha; Kumar, 2020; Xu *et al.*, 2023).

O manejo convencional do solo favorece a emissão de dióxido de carbono. O revolvimento frequente acelera a decomposição da matéria orgânica. Esse processo libera carbono previamente armazenado no solo. A redução da cobertura vegetal também aumenta a vulnerabilidade da matéria orgânica à oxidação. Esses mecanismos diminuem o estoque de carbono e comprometem a qualidade ambiental dos agroecossistemas (Jat *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2024; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

O uso intensivo de fertilizantes nitrogenados representa outra fonte relevante de emissões. A aplicação desses insumos aumenta a liberação de óxido nitroso durante os processos microbiológicos do solo. Esse gás apresenta elevado potencial de aquecimento global. O manejo inadequado dos fertilizantes também reduz a eficiência do uso do nitrogênio e amplia as perdas para o ambiente (Dioha; Kumar, 2020; Hao *et al.*, 2025; Xu *et al.*, 2023).

A pecuária também participa das emissões agrícolas. Os sistemas de produção animal liberam metano durante os processos digestivos dos ruminantes e durante o manejo dos dejetos. A intensidade dessas emissões depende das características do sistema produtivo, da alimentação e das práticas de manejo adotadas. Estratégias integradas de produção podem reduzir parte desses impactos ambientais (Paul *et al.*, 2020; Van Selm *et al.*, 2023; Xu *et al.*, 2023).

As mudanças no uso da terra ampliam as emissões de gases de efeito estufa. A conversão de áreas naturais em áreas agrícolas reduz os estoques de carbono da vegetação e do solo. Esse processo altera

o funcionamento dos ecossistemas e compromete diversos serviços ambientais. A conservação da cobertura vegetal reduz esses impactos e favorece a manutenção do carbono nos ecossistemas terrestres (Pe'er *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2019; Storkey *et al.*, 2024).

A agricultura regenerativa oferece alternativas para reduzir essas emissões. O manejo conservacionista diminui o revolvimento do solo e preserva a matéria orgânica. A cobertura permanente protege a superfície do solo e reduz perdas de carbono. A diversificação de culturas melhora o funcionamento ecológico dos agroecossistemas. Essas práticas aumentam o sequestro de carbono e reduzem as emissões associadas ao manejo agrícola (Teng *et al.*, 2024; Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A redução das emissões depende da adoção integrada de diferentes práticas sustentáveis. Nenhuma estratégia isolada elimina completamente os impactos ambientais da agricultura. A combinação entre conservação do solo, uso eficiente de nutrientes, diversificação produtiva e recuperação dos ecossistemas apresenta maior potencial para reduzir as emissões e fortalecer a sustentabilidade da produção agrícola. Esse conjunto de práticas aproxima os sistemas produtivos das metas globais de mitigação das mudanças climáticas (Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçı; Çakmakçı; Çakmakçı, 2025; Opatski, 2025).

2.3.3. Sequestro de Carbono no Solo

O sequestro de carbono no solo representa um dos principais mecanismos de mitigação das mudanças climáticas. Esse processo consiste no armazenamento de carbono na matéria orgânica do solo por longos períodos. O aumento desse estoque reduz a

concentração de dióxido de carbono na atmosfera. Esse mecanismo também fortalece a qualidade ambiental dos agroecossistemas (Rhodes, 2017; Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Opatski, 2025).

O solo constitui um importante reservatório de carbono terrestre. A matéria orgânica armazena grande parte desse carbono. Os resíduos vegetais incorporam novos compostos orgânicos ao solo. Os microrganismos transformam esses resíduos em substâncias mais estáveis. Esse processo favorece a formação de estoques duradouros de carbono e melhora a fertilidade do solo (Jat *et al.*, 2019; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

A agricultura regenerativa favorece o sequestro de carbono por meio de diferentes práticas de manejo. A cobertura permanente do solo reduz perdas de matéria orgânica. O revolvimento mínimo preserva os agregados do solo e diminui a oxidação do carbono. A diversificação de culturas amplia o aporte de resíduos vegetais. Essas práticas aumentam gradualmente os estoques de carbono orgânico e fortalecem os processos ecológicos do solo (Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025).

As raízes das plantas também desempenham papel importante nesse processo. As plantas transferem carbono para o solo durante seu crescimento. As raízes liberam compostos orgânicos que estimulam a atividade microbiana. Os microrganismos utilizam esses compostos e contribuem para a formação da matéria orgânica. Essas interações aumentam a estabilidade do carbono armazenado no solo e favorecem a ciclagem de nutrientes (Hao *et al.*, 2025; Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024).

O aumento do carbono orgânico melhora diversas propriedades do solo. A matéria orgânica aumenta a capacidade de retenção de água. A matéria orgânica também melhora a estrutura física e favorece a agregação das partículas do solo. Esses efeitos reduzem processos erosivos e ampliam a disponibilidade de nutrientes para as plantas. O resultado consiste em maior estabilidade produtiva e maior resiliência dos agroecossistemas (Jat *et al.*, 2019; Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025).

O potencial de sequestro de carbono varia conforme o manejo adotado. O clima influencia esse processo. O tipo de solo também exerce influência. A duração das práticas regenerativas modifica a quantidade de carbono armazenada. Essas diferenças explicam parte da variabilidade observada entre os estudos científicos (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Teng *et al.*, 2024; Storkey *et al.*, 2024).

As pesquisas recentes destacam que o sequestro de carbono não representa o único benefício da agricultura regenerativa. O aumento do carbono orgânico melhora simultaneamente a fertilidade do solo, a conservação da água, a biodiversidade edáfica e a produtividade agrícola. Esses efeitos reforçam a importância desse mecanismo para a mitigação das mudanças climáticas e para a construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis (Rosier *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

2.3.4. Conservação da Matéria Orgânica do Solo

A matéria orgânica constitui um dos principais componentes da qualidade do solo. Esse material participa da formação da estrutura edáfica e do funcionamento dos processos biológicos. A matéria orgânica também influencia a disponibilidade de nutrientes, a

retenção de água e a estabilidade dos agregados do solo. Esses atributos sustentam a produtividade agrícola e favorecem a conservação dos recursos naturais (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A agricultura regenerativa prioriza a conservação da matéria orgânica do solo. Essa abordagem utiliza práticas que aumentam o aporte de resíduos vegetais e reduzem sua degradação. A cobertura permanente protege a superfície do solo contra a ação das chuvas e das altas temperaturas. O revolvimento mínimo diminui a exposição da matéria orgânica ao oxigênio e reduz sua decomposição acelerada. Essas práticas favorecem o acúmulo gradual de carbono orgânico no solo (Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

Os resíduos vegetais representam importante fonte de matéria orgânica. As raízes, as folhas e os demais restos culturais permanecem sobre ou dentro do solo após o cultivo. Os microrganismos decompõem esses materiais e transformam parte do carbono em compostos mais estáveis. Esse processo fortalece a fertilidade do solo e melhora sua capacidade de sustentar o crescimento das plantas (Hao *et al.*, 2025; Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024).

A atividade biológica também contribui para a conservação da matéria orgânica. Bactérias, fungos e outros organismos do solo participam da decomposição dos resíduos vegetais. Esses organismos promovem a ciclagem de nutrientes e favorecem a formação de agregados estáveis. Essas interações aumentam a estabilidade estrutural do solo e ampliam sua capacidade de

armazenar carbono (Hao *et al.*, 2025; Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024).

A manutenção da matéria orgânica melhora diversas propriedades do solo. A estrutura física torna-se mais estável. A infiltração de água aumenta. A capacidade de retenção hídrica também se eleva. Esses benefícios reduzem a erosão, diminuem o escoamento superficial e aumentam a resistência dos sistemas agrícolas aos períodos de estiagem. Esses efeitos fortalecem a adaptação dos agroecossistemas às mudanças climáticas (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A conservação da matéria orgânica também favorece a eficiência do uso de nutrientes. Os compostos orgânicos funcionam como reservatórios naturais de elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas. A liberação gradual desses nutrientes melhora sua disponibilidade ao longo do ciclo produtivo. Esse processo reduz perdas para o ambiente e diminui a necessidade de fertilizantes sintéticos (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A conservação da matéria orgânica depende da continuidade das práticas de manejo. Os benefícios acumulam-se ao longo do tempo. A interrupção dessas práticas pode reduzir rapidamente os estoques de carbono e comprometer a qualidade do solo. Por essa razão, a adoção permanente de sistemas regenerativos representa condição essencial para manter a funcionalidade dos agroecossistemas e ampliar sua contribuição para a mitigação das mudanças climáticas (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Storkey *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

2.3.5. Manejo Conservacionista e Redução das Emissões

O manejo conservacionista representa uma estratégia importante para reduzir as emissões de gases de efeito estufa na agricultura. Essa abordagem utiliza práticas que preservam a estrutura do solo e favorecem a manutenção da matéria orgânica. Essas práticas também reduzem a degradação ambiental e aumentam a eficiência ecológica dos sistemas produtivos (Jat *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

O revolvimento mínimo do solo constitui um dos principais componentes desse manejo. Essa prática reduz a oxidação da matéria orgânica e diminui a liberação de dióxido de carbono para a atmosfera. A preservação dos agregados do solo também favorece o armazenamento de carbono e fortalece a atividade biológica. Esses efeitos contribuem para a mitigação das mudanças climáticas e para a melhoria da qualidade do solo (Jat *et al.*, 2019; Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Hao *et al.*, 2025).

A cobertura permanente do solo também reduz emissões. Os resíduos vegetais protegem a superfície contra a erosão e diminuem as perdas de umidade. Essa cobertura aumenta o aporte de matéria orgânica e favorece o sequestro de carbono. O solo torna-se mais estável e mais resistente às variações climáticas. Esse processo fortalece a sustentabilidade dos agroecossistemas (Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025).

A diversificação de culturas amplia os benefícios do manejo conservacionista. A alternância entre espécies aumenta a produção de biomassa e melhora a ciclagem de nutrientes. As diferentes arquiteturas radiculares favorecem a formação de matéria orgânica e estimulam a atividade dos microrganismos do solo. Essas interações fortalecem o funcionamento ecológico dos sistemas

agrícolas e reduzem a necessidade de insumos externos (Hao *et al.*, 2025; Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024).

O uso eficiente de fertilizantes também contribui para a redução das emissões. O manejo adequado melhora o aproveitamento do nitrogênio pelas plantas. Esse processo reduz perdas para o ambiente e diminui a emissão de óxido nitroso. A combinação entre conservação do solo e manejo racional de nutrientes aumenta a eficiência ambiental da produção agrícola (Dioha; Kumar, 2020; Hao *et al.*, 2025; Xu *et al.*, 2023).

Os sistemas integrados reforçam os efeitos do manejo conservacionista. A integração entre diferentes componentes produtivos favorece o uso mais eficiente dos recursos naturais. Essa integração amplia a reciclagem de nutrientes e reduz desperdícios. Esses mecanismos diminuem impactos ambientais e fortalecem a resiliência dos agroecossistemas (Paul *et al.*, 2020; Van Selm *et al.*, 2023; Xu *et al.*, 2023).

Os melhores resultados ocorrem quando diferentes práticas conservacionistas são adotadas de forma integrada. O efeito conjunto dessas estratégias supera os benefícios obtidos por práticas isoladas. Essa integração aumenta o estoque de carbono, melhora a qualidade do solo e reduz as emissões associadas ao manejo agrícola. Esses resultados reforçam a importância do manejo conservacionista como componente essencial da agricultura regenerativa e das estratégias globais de mitigação das mudanças climáticas (Rahman *et al.*, 2024; Storkey *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.3.6. Resiliência Climática dos Sistemas Agrícolas

A resiliência climática representa a capacidade dos sistemas agrícolas de responder às alterações ambientais sem perder sua funcionalidade. Os agroecossistemas resilientes suportam períodos de seca, chuvas intensas, ondas de calor e outros eventos climáticos extremos. Esses sistemas também recuperam sua capacidade produtiva após a ocorrência desses eventos. Essa característica fortalece a segurança alimentar e a sustentabilidade da produção agrícola (Seppelt *et al.*, 2022; Gashure, 2024; Gashure, 2025).

A agricultura regenerativa fortalece a resiliência climática por meio da recuperação dos processos ecológicos. Essa abordagem melhora a qualidade do solo, amplia a biodiversidade e favorece o uso eficiente dos recursos naturais. Esses mecanismos aumentam a estabilidade dos agroecossistemas diante das variações climáticas. Essa estabilidade reduz a vulnerabilidade da produção agrícola e favorece sua continuidade em diferentes condições ambientais (Rhodes, 2017; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Opatski, 2025).

A saúde do solo constitui um dos principais fatores associados à resiliência climática. O aumento da matéria orgânica melhora a estrutura do solo e amplia sua capacidade de retenção de água. Essa condição reduz os impactos provocados por períodos de estiagem. O solo também apresenta maior resistência aos processos erosivos durante chuvas intensas. Esses benefícios favorecem a manutenção da produtividade agrícola em cenários climáticos adversos (Hamidov *et al.*, 2018; Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025).

A biodiversidade também fortalece a adaptação dos sistemas agrícolas. A diversificação de culturas reduz a dependência de uma única espécie vegetal. Essa estratégia distribui os riscos produtivos e amplia a estabilidade do sistema. A diversidade de organismos

melhora a ciclagem de nutrientes, favorece o controle biológico e fortalece os serviços ecossistêmicos. Esses processos aumentam a capacidade adaptativa dos agroecossistemas (Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

O manejo conservacionista amplia a resistência dos sistemas agrícolas às mudanças climáticas. A cobertura permanente protege o solo contra a ação direta das chuvas e da radiação solar. O revolvimento mínimo preserva a estrutura física e reduz perdas de carbono. A combinação dessas práticas melhora a infiltração de água e reduz o escoamento superficial. Esses efeitos diminuem a vulnerabilidade dos sistemas produtivos aos eventos climáticos extremos (Jat *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2024; Krause *et al.*, 2024).

A gestão eficiente da água também aumenta a resiliência climática. Os solos ricos em matéria orgânica armazenam maior quantidade de água disponível para as plantas. Essa característica reduz o estresse hídrico durante períodos de baixa precipitação. A maior infiltração também diminui perdas por enxurradas e favorece o equilíbrio hídrico dos agroecossistemas (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

Os sistemas agrícolas resilientes também apresentam maior capacidade de adaptação socioeconômica. A diversificação produtiva reduz riscos associados às oscilações climáticas e de mercado. Essa estratégia amplia a estabilidade da renda e fortalece a segurança alimentar das comunidades rurais. Esses benefícios favorecem o desenvolvimento rural sustentável e aumentam a capacidade de resposta dos produtores frente às mudanças ambientais (Musafiri *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024).

A resiliência climática depende da integração entre diferentes práticas regenerativas. A adoção isolada de uma única técnica produz benefícios limitados. A combinação entre conservação do solo, diversificação produtiva, manejo eficiente da água e fortalecimento da biodiversidade gera resultados mais consistentes. Essa integração amplia a capacidade adaptativa dos agroecossistemas e fortalece sua contribuição para a mitigação das mudanças climáticas e para a sustentabilidade da produção agrícola (Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.4. Conservação do Solo, da Água e da Biodiversidade

A conservação do solo, da água e da biodiversidade constitui um dos pilares da agricultura regenerativa. Esses recursos sustentam o funcionamento dos agroecossistemas e garantem a continuidade da produção agrícola. A degradação desses componentes reduz a produtividade, compromete os serviços ecossistêmicos e aumenta a vulnerabilidade dos sistemas agrícolas às mudanças climáticas. Por essa razão, a literatura destaca a conservação dos recursos naturais como elemento central para o desenvolvimento de sistemas produtivos sustentáveis (Rhodes, 2017; Pe'er *et al.*, 2020; Opatski, 2025).

O solo desempenha papel fundamental na manutenção dos agroecossistemas. Esse recurso fornece suporte físico às plantas e regula importantes processos ecológicos. O solo também participa da ciclagem de nutrientes, do armazenamento de carbono e da retenção de água. A conservação de sua estrutura física, química e biológica favorece a estabilidade da produção agrícola e fortalece a resiliência dos sistemas produtivos (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A água também representa recurso indispensável para a agricultura. A disponibilidade hídrica influencia diretamente o crescimento das plantas e a produtividade das culturas. As práticas regenerativas aumentam a infiltração de água no solo e reduzem o escoamento superficial. Essas práticas também diminuem perdas por evaporação e ampliam a eficiência do uso da água. Esses efeitos reduzem os impactos provocados pelos períodos de estiagem e favorecem a adaptação às mudanças climáticas (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025).

A biodiversidade fortalece o equilíbrio ecológico dos agroecossistemas. A diversidade de espécies amplia as interações entre plantas, animais e microrganismos. Essas interações favorecem a ciclagem de nutrientes, a polinização e o controle biológico de pragas. Esses processos reduzem a dependência de insumos externos e aumentam a estabilidade dos sistemas agrícolas. A biodiversidade também amplia a capacidade de adaptação frente às alterações ambientais (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

As práticas regenerativas promovem a conservação integrada desses recursos naturais. A cobertura permanente do solo reduz processos erosivos. O revolvimento mínimo preserva a matéria orgânica e melhora a estrutura edáfica. A diversificação de culturas aumenta a produção de biomassa e fortalece a atividade biológica. Essas práticas atuam de forma complementar e ampliam a eficiência ecológica dos agroecossistemas (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024).

A recuperação de áreas degradadas também integra os objetivos da agricultura regenerativa. O manejo sustentável favorece o

restabelecimento da fertilidade do solo e da cobertura vegetal. Esse processo melhora a infiltração de água, reduz a erosão e amplia a biodiversidade local. A recuperação dos ecossistemas fortalece os serviços ambientais e aumenta a capacidade produtiva das áreas agrícolas (Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Opatski, 2025).

A conservação dos recursos naturais também produz benefícios econômicos e sociais. Os sistemas agrícolas tornam-se mais estáveis e menos dependentes de insumos externos. Os produtores reduzem riscos associados às variações climáticas e à degradação ambiental. Esses benefícios favorecem o desenvolvimento rural sustentável e ampliam a segurança alimentar das comunidades agrícolas (Mulungu *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Solo, água e biodiversidade apresentam elevada interdependência. A degradação de um desses componentes compromete o funcionamento dos demais. A conservação integrada desses recursos produz efeitos sinérgicos sobre a qualidade ambiental e a produtividade agrícola. Essa integração fortalece a resiliência dos agroecossistemas e amplia a contribuição da agricultura regenerativa para a mitigação das mudanças climáticas e para a sustentabilidade da produção de alimentos (Storkey *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.4.1. Saúde do Solo

A saúde do solo representa um dos principais fundamentos da agricultura regenerativa. Um solo saudável mantém suas funções físicas, químicas e biológicas de forma equilibrada. Esse solo sustenta o crescimento das plantas, regula a disponibilidade de

água e favorece a ciclagem de nutrientes. Essas funções garantem maior estabilidade aos agroecossistemas e fortalecem a sustentabilidade da produção agrícola (Rhodes, 2017; Jat *et al.*, 2019; Opatski, 2025).

A matéria orgânica constitui um dos principais indicadores da saúde do solo. Esse componente melhora a estrutura física e aumenta a capacidade de retenção de água. A matéria orgânica também favorece a disponibilidade de nutrientes e estimula a atividade dos organismos edáficos. Esses benefícios ampliam a fertilidade natural do solo e reduzem a necessidade de insumos externos (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

A atividade biológica também exerce papel essencial na manutenção da saúde do solo. Bactérias, fungos, minhocas e outros organismos participam da decomposição da matéria orgânica. Esses organismos promovem a ciclagem de nutrientes e contribuem para a formação de agregados estáveis. Essas interações fortalecem a estrutura do solo e aumentam sua capacidade de sustentar o desenvolvimento das plantas (Dittmer *et al.*, 2023; Hao *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A estrutura física do solo influencia diretamente seu funcionamento. Solos bem estruturados apresentam maior infiltração de água e melhor aeração. Esses solos também oferecem menor resistência ao crescimento das raízes. Essas características favorecem o desenvolvimento das culturas e reduzem a ocorrência de processos erosivos (Hamidov *et al.*, 2018; Jat *et al.*, 2019; Nthebere *et al.*, 2025).

A agricultura regenerativa utiliza práticas que preservam e recuperam a saúde do solo. A cobertura permanente protege a

superfície contra o impacto das chuvas e reduz a perda de umidade. O revolvimento mínimo preserva os agregados e diminui a degradação da matéria orgânica. A diversificação de culturas aumenta o aporte de resíduos vegetais e fortalece a atividade biológica. Essas práticas atuam de forma integrada e promovem melhorias contínuas na qualidade do solo (Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

A saúde do solo também influencia a capacidade de adaptação dos sistemas agrícolas às mudanças climáticas. Solos ricos em matéria orgânica armazenam maior quantidade de água e carbono. Essa condição reduz os impactos provocados por secas prolongadas e chuvas intensas. O aumento da estabilidade estrutural também diminui perdas por erosão e favorece a manutenção da produtividade agrícola em condições ambientais adversas (Hamidov *et al.*, 2018; Hao *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

A saúde do solo depende da integração entre diferentes práticas de manejo. A adoção isolada de uma única técnica produz benefícios limitados. A combinação entre cobertura permanente, diversificação de culturas, redução do revolvimento e conservação da matéria orgânica gera resultados mais consistentes. Essa integração fortalece a funcionalidade dos agroecossistemas e amplia a contribuição da agricultura regenerativa para a sustentabilidade ambiental e para a segurança alimentar (Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

2.4.2. Estrutura Física, Química e Biológica do Solo

A estrutura do solo resulta da interação entre atributos físicos, químicos e biológicos. Esses componentes atuam de forma

integrada e determinam o funcionamento dos agroecossistemas. A qualidade do solo depende do equilíbrio entre essas propriedades. Esse equilíbrio influencia diretamente a produtividade agrícola e a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A estrutura física do solo exerce papel essencial no desenvolvimento das plantas. Os agregados conferem estabilidade ao solo e reduzem sua suscetibilidade à erosão. A porosidade favorece a infiltração de água e a circulação de ar. Essas características facilitam o crescimento das raízes e aumentam a disponibilidade hídrica para as culturas. Solos bem estruturados apresentam maior resistência aos efeitos das mudanças climáticas (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025).

As propriedades químicas também determinam a qualidade do solo. O pH influencia a disponibilidade de nutrientes. A capacidade de troca de cátions regula a retenção de elementos essenciais às plantas. A matéria orgânica participa desses processos e melhora a fertilidade natural do solo. Esses atributos aumentam a eficiência do aproveitamento de nutrientes e reduzem perdas para o ambiente (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

A estrutura biológica do solo depende da diversidade e da atividade dos organismos edáficos. Bactérias, fungos, minhocas e outros organismos realizam funções essenciais para o funcionamento dos agroecossistemas. Esses organismos decompõem resíduos vegetais e promovem a ciclagem de nutrientes. Esses organismos também participam da formação de agregados e contribuem para a estabilidade estrutural do solo (Dittmer *et al.*, 2023; Hao *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A matéria orgânica integra os componentes físicos, químicos e biológicos do solo. Esse material melhora a agregação das partículas e aumenta a retenção de água. A matéria orgânica também fornece energia para os microrganismos e favorece a disponibilidade gradual de nutrientes. Essa integração fortalece a funcionalidade do solo e amplia sua capacidade de sustentar a produção agrícola (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024).

A agricultura regenerativa promove melhorias simultâneas nesses três componentes. O revolvimento mínimo preserva a estrutura física do solo. A cobertura permanente reduz perdas de matéria orgânica e protege a superfície contra processos erosivos. A diversificação de culturas aumenta a atividade biológica e favorece a ciclagem de nutrientes. Essas práticas atuam de forma complementar e fortalecem a qualidade do solo ao longo do tempo (Krause *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

Os atributos físicos, químicos e biológicos apresentam elevada interdependência. Alterações em um desses componentes repercutem sobre os demais. A degradação da estrutura física compromete a atividade biológica. A redução da matéria orgânica limita a disponibilidade de nutrientes e diminui a estabilidade dos agregados. Em contrapartida, a recuperação integrada dessas propriedades aumenta a resiliência dos agroecossistemas e favorece a sustentabilidade da produção agrícola (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024).

Os estudos analisados indicam que a conservação integrada da estrutura física, química e biológica do solo constitui um dos principais diferenciais da agricultura regenerativa. Essa abordagem fortalece os processos ecológicos, melhora a qualidade ambiental e

amplia a capacidade produtiva dos sistemas agrícolas. Esses benefícios reforçam o papel do solo como elemento central para a mitigação das mudanças climáticas, a conservação dos recursos naturais e o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.4.3. Conservação dos Recursos Hídricos

A conservação dos recursos hídricos constitui um dos principais objetivos da agricultura regenerativa. A água sustenta o desenvolvimento das plantas e o funcionamento dos processos ecológicos. A disponibilidade hídrica também influencia a produtividade agrícola e a estabilidade dos agroecossistemas. A degradação dos recursos hídricos compromete a sustentabilidade da produção e aumenta a vulnerabilidade frente às mudanças climáticas (Hamidov *et al.*, 2018; Seppelt *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024).

A agricultura regenerativa adota práticas que aumentam a eficiência do uso da água. A cobertura permanente do solo reduz a evaporação e protege a superfície contra o impacto direto das chuvas. O revolvimento mínimo preserva a estrutura do solo e favorece a infiltração da água. Essas práticas aumentam o armazenamento hídrico e reduzem perdas por escoamento superficial (Jat *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2024; Krause *et al.*, 2024).

A matéria orgânica desempenha papel essencial na conservação dos recursos hídricos. Esse componente aumenta a capacidade de retenção de água no solo. A matéria orgânica também melhora a agregação das partículas e favorece a formação de poros. Essas

características ampliam a infiltração da água e reduzem a ocorrência de enxurradas e processos erosivos. Esses benefícios fortalecem a estabilidade dos sistemas agrícolas durante períodos de baixa precipitação (Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

A vegetação também contribui para a proteção dos recursos hídricos. As raízes favorecem a infiltração da água e estabilizam a estrutura do solo. A cobertura vegetal reduz a velocidade do escoamento superficial e diminui o transporte de sedimentos. Essas funções preservam a qualidade da água e reduzem o assoreamento de corpos hídricos (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Storkey *et al.*, 2024).

A diversificação dos sistemas produtivos amplia a eficiência hídrica dos agroecossistemas. Diferentes espécies vegetais exploram distintas camadas do solo. Essa característica melhora o aproveitamento da água disponível e reduz a competição entre culturas. A diversidade de plantas também favorece a manutenção da cobertura vegetal durante diferentes épocas do ano. Esse processo fortalece o equilíbrio hídrico do sistema agrícola (Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A conservação dos recursos hídricos também reduz impactos ambientais. A menor perda de solo diminui o transporte de nutrientes e contaminantes para rios e reservatórios. A melhoria da infiltração favorece a recarga dos aquíferos e contribui para a manutenção dos fluxos hídricos. Esses efeitos ampliam a disponibilidade de água e fortalecem os serviços ecossistêmicos associados aos ambientes agrícolas (Hamidov *et al.*, 2018; Krause *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024).

As mudanças climáticas aumentam a importância da gestão sustentável da água. A maior frequência de secas e chuvas intensas exige sistemas agrícolas mais resilientes. A agricultura regenerativa contribui para essa adaptação por meio da conservação do solo, do aumento da matéria orgânica e da melhoria da infiltração hídrica. Essas práticas reduzem a vulnerabilidade dos agroecossistemas às variações climáticas e favorecem a estabilidade da produção agrícola (Seppelt *et al.*, 2022; Hao *et al.*, 2025; Rosier *et al.*, 2025).

A conservação dos recursos hídricos depende da integração entre diferentes práticas regenerativas. A adoção conjunta da cobertura permanente do solo, da diversificação de culturas, da manutenção da matéria orgânica e do revolvimento mínimo produz resultados mais consistentes do que a aplicação isolada dessas técnicas. Essa integração fortalece a sustentabilidade dos agroecossistemas e amplia a contribuição da agricultura regenerativa para a mitigação das mudanças climáticas e para a segurança alimentar (Storkey *et al.*, 2024; Opatski, 2025; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

2.4.4. Biodiversidade Funcional

A biodiversidade funcional constitui um dos principais componentes dos agroecossistemas regenerativos. Esse conceito refere-se à diversidade de organismos que desempenham funções ecológicas essenciais para o funcionamento do sistema agrícola. Plantas, microrganismos, insetos, aves e outros organismos participam desses processos. Essas interações aumentam a estabilidade ecológica e favorecem a sustentabilidade da produção agrícola (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Os organismos do solo exercem funções fundamentais nos agroecossistemas. Bactérias e fungos promovem a decomposição da matéria orgânica. Esses organismos também participam da ciclagem de nutrientes e da formação de agregados estáveis. A fauna edáfica melhora a estrutura do solo e favorece a infiltração de água. Esses processos fortalecem a fertilidade natural e ampliam a resiliência dos sistemas produtivos (Hao *et al.*, 2025; Krause *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025).

Os insetos polinizadores também contribuem para a biodiversidade funcional. Esses organismos favorecem a reprodução de diversas espécies vegetais cultivadas e espontâneas. A polinização aumenta a produtividade e melhora a qualidade de muitos produtos agrícolas. A conservação dos habitats naturais e da diversidade vegetal favorece a manutenção dessas populações e amplia os benefícios ecológicos associados à produção agrícola (Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

Os inimigos naturais desempenham papel importante na regulação das populações de pragas. Predadores e parasitoides reduzem naturalmente a abundância de organismos que causam danos às culturas. Esse processo diminui a necessidade de defensivos químicos e fortalece o equilíbrio ecológico dos agroecossistemas. O controle biológico representa uma das principais funções desempenhadas pela biodiversidade funcional (Storkey *et al.*, 2024; Dittmer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024).

A diversidade vegetal amplia a eficiência dos processos ecológicos. A presença de diferentes espécies aumenta a produção de biomassa e favorece a ciclagem de nutrientes. As distintas arquiteturas radiculares exploram diferentes camadas do solo e melhoram o

aproveitamento de água e nutrientes. Essa diversidade também reduz a vulnerabilidade dos sistemas agrícolas frente às variações climáticas e às doenças (Kliem, 2022; Teng *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A agricultura regenerativa favorece a biodiversidade funcional por meio de diferentes práticas de manejo. A rotação de culturas aumenta a diversidade biológica do sistema. A cobertura permanente do solo protege habitats importantes para os organismos edáficos. Os sistemas agroflorestais ampliam a diversidade estrutural da paisagem agrícola. Essas práticas fortalecem as interações ecológicas e aumentam a oferta de serviços ecossistêmicos (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A biodiversidade funcional também aumenta a resiliência dos agroecossistemas. Sistemas biologicamente diversificados apresentam maior capacidade de adaptação às mudanças climáticas. Esses sistemas respondem melhor a secas, chuvas intensas e oscilações ambientais. A diversidade reduz riscos produtivos e favorece a continuidade da produção agrícola em diferentes condições climáticas (Seppelt *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Storkey *et al.*, 2024).

A biodiversidade funcional representa um dos principais diferenciais da agricultura regenerativa. A manutenção das interações ecológicas fortalece a qualidade do solo, melhora a eficiência do uso dos recursos naturais e reduz a dependência de insumos externos. Esses benefícios ampliam a sustentabilidade dos agroecossistemas e reforçam a importância da biodiversidade como elemento central para a mitigação das mudanças climáticas, a conservação ambiental

e a segurança alimentar (Opatski, 2025; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rosier *et al.*, 2025).

2.4.5. Serviços Ecossistêmicos

Os serviços ecossistêmicos representam os benefícios que os ecossistemas fornecem à sociedade e aos sistemas produtivos. Esses serviços sustentam a produção agrícola e contribuem para a conservação dos recursos naturais. Os processos ecológicos mantêm a fertilidade do solo, regulam o ciclo da água, favorecem a polinização e promovem o controle biológico de pragas. Esses benefícios fortalecem a sustentabilidade dos agroecossistemas (Pe'er *et al.*, 2020; Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024).

A agricultura regenerativa busca conservar e ampliar esses serviços ecossistêmicos. Essa abordagem fortalece os processos naturais responsáveis pelo funcionamento dos sistemas agrícolas. O manejo regenerativo estimula a diversidade biológica, preserva a matéria orgânica e reduz a degradação ambiental. Essas práticas aumentam a capacidade dos ecossistemas de fornecer serviços essenciais para a produção de alimentos (Rhodes, 2017; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Opatski, 2025).

A ciclagem de nutrientes constitui um dos principais serviços ecossistêmicos dos agroecossistemas. Os microrganismos decompõem resíduos vegetais e disponibilizam nutrientes para as plantas. Esse processo reduz perdas de fertilidade e melhora a eficiência do uso dos recursos naturais. A manutenção da atividade biológica também diminui a dependência de fertilizantes sintéticos (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025).

A regulação hídrica representa outro serviço ecossistêmico relevante. Os solos ricos em matéria orgânica aumentam a infiltração e o armazenamento de água. Essa condição reduz o escoamento superficial e diminui os processos erosivos. A maior disponibilidade hídrica favorece o desenvolvimento das culturas e amplia a resistência dos sistemas agrícolas aos períodos de estiagem (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A polinização também desempenha função essencial na produção agrícola. Os insetos polinizadores favorecem a reprodução de diversas espécies cultivadas. Essa atividade aumenta a produtividade e melhora a qualidade dos produtos agrícolas. A conservação da biodiversidade e dos habitats naturais contribui para a manutenção dessas populações e amplia os benefícios proporcionados por esse serviço ecossistêmico (Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

O controle biológico natural reduz a ocorrência de pragas e doenças. Predadores, parasitoides e outros organismos regulam as populações de espécies potencialmente prejudiciais às culturas. Esse processo diminui a necessidade de defensivos químicos e favorece o equilíbrio ecológico dos agroecossistemas. A diversidade biológica fortalece a eficiência desse mecanismo de regulação natural (Storkey *et al.*, 2024; Dittmer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024).

O sequestro de carbono também constitui importante serviço ecossistêmico. O solo armazena carbono na matéria orgânica e reduz sua concentração na atmosfera. Esse processo contribui para a mitigação das mudanças climáticas e melhora simultaneamente a fertilidade do solo. As práticas regenerativas ampliam esse potencial por meio da cobertura permanente, da diversificação de culturas e

do revolvimento mínimo do solo (Jat *et al.*, 2019; Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Teng *et al.*, 2024).

Os serviços ecossistêmicos atuam de forma integrada. A melhoria de um processo ecológico fortalece o funcionamento dos demais. A conservação do solo favorece a retenção de água. A biodiversidade amplia a ciclagem de nutrientes e o controle biológico. O aumento da matéria orgânica fortalece todos esses processos simultaneamente. Essa interação amplia a resiliência dos agroecossistemas e favorece a sustentabilidade da produção agrícola (Rosier *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

Os estudos analisados indicam que a manutenção dos serviços ecossistêmicos representa um dos principais diferenciais da agricultura regenerativa. Essa abordagem transforma processos ecológicos em componentes centrais do sistema produtivo. Esse modelo reduz impactos ambientais, fortalece a adaptação às mudanças climáticas e amplia a segurança alimentar. Esses resultados reforçam a importância dos serviços ecossistêmicos para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis e resilientes (Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Storkey *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.4.6. Recuperação de Áreas Degradadas

A recuperação de áreas degradadas constitui um dos principais objetivos da agricultura regenerativa. A degradação reduz a capacidade produtiva do solo e compromete o funcionamento dos agroecossistemas. Esse processo provoca perdas de matéria orgânica, biodiversidade e recursos hídricos. Essas alterações diminuem a sustentabilidade da produção agrícola e ampliam a

vulnerabilidade às mudanças climáticas (Rhodes, 2017; Pe'er *et al.*, 2020; Opatski, 2025).

A agricultura regenerativa utiliza práticas capazes de restaurar a funcionalidade dos ecossistemas degradados. A cobertura permanente do solo protege a superfície contra processos erosivos. O revolvimento mínimo preserva a estrutura física e reduz perdas de carbono. A diversificação de culturas aumenta o aporte de resíduos vegetais e favorece a recuperação da fertilidade natural. Essas práticas promovem melhorias graduais na qualidade ambiental das áreas degradadas (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024).

A matéria orgânica exerce papel central nesse processo de recuperação. O aumento do carbono orgânico melhora a estrutura do solo e amplia sua capacidade de retenção de água. A matéria orgânica também favorece a disponibilidade de nutrientes e estimula a atividade biológica. Esses efeitos aumentam a estabilidade dos agregados e reduzem a suscetibilidade à erosão (Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

A atividade biológica também acelera a recuperação dos agroecossistemas. Bactérias, fungos e outros organismos decompõem resíduos vegetais e promovem a ciclagem de nutrientes. Esses organismos contribuem para a formação da matéria orgânica e para a melhoria da estrutura do solo. Essas interações fortalecem os processos ecológicos responsáveis pela manutenção da fertilidade e da produtividade agrícola (Dittmer *et al.*, 2023; Hao *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A vegetação desempenha função essencial na recuperação ambiental. As raízes estabilizam o solo e favorecem a infiltração de água. A cobertura vegetal reduz o impacto das chuvas e diminui o escoamento superficial. Esses mecanismos reduzem a erosão e favorecem a restauração dos processos hidrológicos. A vegetação também amplia os habitats disponíveis para diferentes organismos e fortalece a biodiversidade local (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A recuperação de áreas degradadas também produz benefícios climáticos. O aumento da matéria orgânica favorece o sequestro de carbono no solo. A melhoria da cobertura vegetal amplia o armazenamento de carbono na biomassa. Esses processos reduzem a concentração de dióxido de carbono na atmosfera e contribuem para a mitigação das mudanças climáticas. Esses efeitos reforçam o papel da agricultura regenerativa na restauração ambiental (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A restauração dos agroecossistemas também fortalece a produção agrícola. Solos recuperados apresentam maior capacidade de armazenar água e nutrientes. Esses solos sustentam melhor o crescimento das plantas e apresentam maior estabilidade produtiva. A melhoria das condições ambientais reduz riscos associados às variações climáticas e aumenta a resiliência dos sistemas agrícolas (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A recuperação de áreas degradadas depende da integração entre diferentes práticas regenerativas. A adoção isolada de uma única técnica produz resultados limitados. A combinação entre conservação do solo, aumento da matéria orgânica, diversificação de

culturas e fortalecimento da biodiversidade gera efeitos mais consistentes e duradouros. Essa integração restabelece os processos ecológicos essenciais ao funcionamento dos agroecossistemas e amplia a sustentabilidade da produção agrícola (Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

2.5. Práticas Agroecológicas Empregadas na Agricultura Regenerativa

As práticas agroecológicas constituem a base operacional da agricultura regenerativa. Essas práticas aplicam princípios ecológicos ao manejo dos agroecossistemas. O objetivo consiste em fortalecer os processos naturais que sustentam a produção agrícola. Essa abordagem reduz a dependência de insumos externos e amplia a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Brumer *et al.*, 2023; Rhodes, 2017; Opatski, 2025).

A diversificação dos sistemas agrícolas representa uma das principais estratégias agroecológicas. A rotação de culturas reduz a pressão de pragas e doenças. Os cultivos consorciados aumentam a diversidade biológica e favorecem a utilização eficiente dos recursos naturais. Essas práticas ampliam a estabilidade ecológica dos agroecossistemas e reduzem riscos produtivos associados às monoculturas (Jat *et al.*, 2019; Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025).

A conservação do solo também ocupa posição central na agricultura regenerativa. A cobertura permanente protege a superfície contra processos erosivos. O revolvimento mínimo preserva a estrutura física e reduz perdas de matéria orgânica. Essas práticas aumentam a infiltração de água, favorecem o sequestro de carbono e melhoram

a fertilidade natural do solo (Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A adubação verde fortalece a ciclagem de nutrientes. As plantas utilizadas nesse manejo produzem elevada quantidade de biomassa. Esses resíduos aumentam o teor de matéria orgânica e estimulam a atividade biológica do solo. Esse processo melhora a disponibilidade de nutrientes e reduz a necessidade de fertilizantes sintéticos (Jat *et al.*, 2019; Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025).

A compostagem também representa importante prática agroecológica. Esse processo transforma resíduos orgânicos em material estável e rico em nutrientes. O composto melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Essa prática amplia a fertilidade, fortalece a atividade microbiana e contribui para o aumento do carbono orgânico (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

Os sistemas agroflorestais ampliam a complexidade ecológica dos agroecossistemas. A integração entre árvores e culturas agrícolas aumenta a biodiversidade e melhora a proteção do solo. As árvores favorecem o sequestro de carbono e contribuem para a regulação do microclima. Essa integração também amplia a oferta de serviços ecossistêmicos e fortalece a resiliência climática dos sistemas produtivos (Rosier *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A integração entre diferentes componentes produtivos fortalece a eficiência ecológica da produção agrícola. Sistemas integrados promovem maior reciclagem de nutrientes e melhor aproveitamento dos recursos naturais. Essa estratégia reduz

desperdícios e amplia a estabilidade produtiva. A integração também favorece a conservação da biodiversidade e o equilíbrio ecológico dos agroecossistemas (Paul *et al.*, 2020; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

O manejo ecológico de pragas reduz a dependência de defensivos químicos. Essa abordagem utiliza o controle biológico, a diversificação de culturas e a conservação dos inimigos naturais. Esses mecanismos regulam naturalmente as populações de organismos prejudiciais às culturas. Essa estratégia preserva a biodiversidade funcional e reduz impactos ambientais associados ao controle químico convencional (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Os maiores benefícios ocorrem quando essas práticas são adotadas de forma integrada. A combinação entre cobertura permanente do solo, rotação de culturas, adubação verde, compostagem, sistemas agroflorestais e manejo ecológico fortalece simultaneamente a saúde do solo, a conservação da água, a biodiversidade e a produtividade agrícola. Essa integração aumenta a resiliência dos agroecossistemas e amplia a contribuição da agricultura regenerativa para a mitigação das mudanças climáticas, a sustentabilidade socioambiental e a segurança alimentar (Rahman *et al.*, 2024; Storkey *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.5.1. Rotação de Culturas

A rotação de culturas constitui uma das principais práticas da agricultura regenerativa e da agroecologia. Essa estratégia consiste na alternância planejada de diferentes espécies vegetais na mesma área ao longo do tempo. Esse manejo modifica a dinâmica biológica,

física e química do solo. Essa prática também favorece o equilíbrio ecológico dos agroecossistemas (Jat *et al.*, 2019; Rhodes, 2017; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A alternância de culturas reduz a pressão exercida por pragas, doenças e plantas daninhas. Cada espécie vegetal apresenta diferentes exigências nutricionais e diferentes ciclos biológicos. Essa diversidade interrompe o desenvolvimento contínuo de organismos fitopatogênicos e diminui sua disseminação. Esse processo reduz a dependência de defensivos químicos e fortalece os mecanismos naturais de regulação biológica (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A rotação de culturas também melhora a fertilidade do solo. Diferentes espécies produzem resíduos vegetais com características distintas. Esses resíduos aumentam a diversidade de compostos orgânicos incorporados ao solo. Os microrganismos decompõem esse material e promovem a ciclagem de nutrientes. Esse processo aumenta a disponibilidade de nutrientes para os cultivos subsequentes e favorece a manutenção da matéria orgânica (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

As diferentes arquiteturas radiculares ampliam os benefícios dessa prática. Algumas espécies exploram camadas superficiais do solo. Outras espécies alcançam camadas mais profundas. Essa característica melhora o aproveitamento da água e dos nutrientes disponíveis. Esse processo reduz a compactação do solo e favorece sua estrutura física (Jat *et al.*, 2019; Nthebere *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

A rotação de culturas também contribui para a conservação dos recursos hídricos. A cobertura vegetal reduz o impacto direto das chuvas sobre a superfície do solo. Essa proteção diminui o escoamento superficial e reduz processos erosivos. A melhoria da estrutura do solo aumenta a infiltração de água e amplia sua capacidade de armazenamento. Esses benefícios fortalecem a resiliência dos agroecossistemas diante das mudanças climáticas (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A biodiversidade funcional também aumenta com a rotação de culturas. A diversidade de espécies vegetais favorece diferentes comunidades de microrganismos, insetos e outros organismos do solo. Essas interações fortalecem os serviços ecossistêmicos relacionados à ciclagem de nutrientes, ao controle biológico e à estabilidade ecológica dos sistemas agrícolas. Esses efeitos ampliam a sustentabilidade da produção (Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A rotação de culturas produz melhores resultados quando associada a outras práticas regenerativas. A combinação com cobertura permanente do solo, revolvimento mínimo, adubação verde e diversificação produtiva amplia os benefícios ambientais e produtivos. Essa integração favorece o sequestro de carbono, melhora a qualidade do solo e reduz as emissões de gases de efeito estufa. Esses resultados reforçam o papel da rotação de culturas como componente essencial da agricultura regenerativa (Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Opatski, 2025).

Os estudos analisados indicam que a rotação de culturas fortalece simultaneamente a produtividade agrícola, a conservação dos recursos naturais e a estabilidade ecológica dos agroecossistemas.

Essa prática aumenta a eficiência do uso dos recursos disponíveis e reduz impactos ambientais associados ao manejo convencional. Dessa forma, a rotação de culturas representa uma estratégia fundamental para a construção de sistemas agrícolas mais resilientes, sustentáveis e capazes de enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas (Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.5.2. Plantio Direto

O plantio direto constitui uma das principais práticas da agricultura regenerativa. Essa técnica reduz o revolvimento do solo durante a implantação das culturas. O sistema preserva a cobertura vegetal e mantém resíduos vegetais sobre a superfície. Essa estratégia protege o solo e fortalece o funcionamento dos processos ecológicos (Jat *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

O revolvimento mínimo preserva a estrutura física do solo. Essa prática mantém os agregados estáveis e reduz a desagregação das partículas. A estabilidade estrutural favorece a infiltração de água e melhora a aeração do solo. Essas condições estimulam o crescimento radicular e aumentam a capacidade produtiva dos agroecossistemas (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025).

A cobertura permanente do solo representa outro componente essencial do plantio direto. Os resíduos vegetais reduzem o impacto direto das chuvas e diminuem a erosão hídrica. Essa cobertura também reduz a evaporação e conserva a umidade do solo. Esses benefícios favorecem o desenvolvimento das culturas e aumentam a

resistência dos sistemas agrícolas aos períodos de estiagem (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

O plantio direto contribui para a conservação da matéria orgânica. A menor perturbação do solo reduz a oxidação do carbono orgânico. Os resíduos vegetais aumentam continuamente o aporte de biomassa ao sistema. Os microrganismos transformam essa biomassa em compostos orgânicos mais estáveis. Esse processo favorece o sequestro de carbono e melhora a fertilidade do solo (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A atividade biológica também aumenta sob plantio direto. Os microrganismos encontram condições mais favoráveis para seu desenvolvimento. A fauna edáfica preserva seus habitats e intensifica a ciclagem de nutrientes. Essas interações fortalecem os processos biológicos responsáveis pela manutenção da qualidade do solo e pela estabilidade dos agroecossistemas (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

O plantio direto também reduz emissões de gases de efeito estufa. A menor mobilização do solo diminui as perdas de carbono para a atmosfera. O aumento da matéria orgânica amplia o armazenamento de carbono no solo. Esses mecanismos contribuem para a mitigação das mudanças climáticas e fortalecem os objetivos da agricultura regenerativa (Smith *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2024; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

A eficiência do plantio direto aumenta quando essa prática é integrada à rotação de culturas e à diversificação produtiva. A sucessão planejada de espécies amplia a produção de biomassa e favorece a ciclagem de nutrientes. Essa integração melhora a

qualidade física, química e biológica do solo. Essa integração também fortalece a biodiversidade funcional e os serviços ecossistêmicos (Jat *et al.*, 2019; Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025).

O plantio direto produz benefícios ambientais, produtivos e climáticos de forma simultânea. Essa prática conserva o solo, melhora a eficiência do uso da água e fortalece a resiliência dos agroecossistemas. Esses resultados tornam o plantio direto um dos principais componentes dos sistemas agrícolas regenerativos e uma estratégia importante para promover a sustentabilidade da produção agrícola em longo prazo (Rahman *et al.*, 2024; Storkey *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.5.3. Cobertura Permanente do Solo

A cobertura permanente do solo representa um dos princípios fundamentais da agricultura regenerativa. Essa prática consiste na manutenção contínua da superfície do solo protegida por resíduos vegetais ou plantas vivas. Essa cobertura reduz a exposição direta do solo aos agentes climáticos. Esse manejo preserva a qualidade ambiental dos agroecossistemas e fortalece sua sustentabilidade (Jat *et al.*, 2019; Rhodes, 2017; Opatski, 2025).

A cobertura vegetal protege o solo contra o impacto das gotas de chuva. Essa proteção reduz o desprendimento das partículas superficiais e diminui os processos erosivos. A redução da erosão preserva a camada mais fértil do solo e evita perdas de matéria orgânica e nutrientes. Esses efeitos contribuem para a manutenção da produtividade agrícola em longo prazo (Jat *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2024; Krause *et al.*, 2024).

A cobertura permanente também favorece a conservação da água. Os resíduos vegetais reduzem a evaporação e mantêm maior umidade no solo. Essa condição melhora a disponibilidade hídrica para as plantas durante períodos de baixa precipitação. A cobertura também aumenta a infiltração da água e reduz o escoamento superficial. Esses benefícios fortalecem a resiliência dos sistemas agrícolas frente às mudanças climáticas (Hamidov *et al.*, 2018; Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025).

A matéria orgânica aumenta com a manutenção da cobertura vegetal. Os resíduos depositados sobre o solo passam por processos de decomposição. Os microrganismos transformam esse material em compostos orgânicos estáveis. Esse processo favorece o sequestro de carbono e melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Esses efeitos fortalecem a fertilidade natural e ampliam a sustentabilidade da produção agrícola (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024).

A cobertura permanente estimula a atividade biológica do solo. Os resíduos vegetais fornecem alimento e abrigo para microrganismos e organismos edáficos. Esses organismos intensificam a ciclagem de nutrientes e contribuem para a formação de agregados estáveis. Essas interações fortalecem a estrutura do solo e melhoram seu funcionamento ecológico (Dittmer *et al.*, 2023; Hao *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A biodiversidade funcional também aumenta sob cobertura permanente. A presença contínua de vegetação favorece diferentes comunidades de organismos benéficos. Esses organismos desempenham funções relacionadas ao controle biológico, à decomposição da matéria orgânica e à manutenção dos serviços

ecossistêmicos. Esse equilíbrio reduz a dependência de insumos externos e amplia a estabilidade dos agroecossistemas (Rosier *et al.*, 2025; Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024).

A cobertura permanente apresenta maior eficiência quando associada à rotação de culturas e ao plantio direto. Essas práticas atuam de forma complementar e fortalecem os processos ecológicos responsáveis pela conservação do solo e da água. Essa integração aumenta a retenção de carbono, melhora a infiltração hídrica e reduz as emissões de gases de efeito estufa. Esses benefícios ampliam a resiliência climática dos sistemas agrícolas (Jat *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024).

A cobertura permanente do solo constitui uma das práticas mais eficientes para promover a sustentabilidade dos agroecossistemas. Essa estratégia melhora simultaneamente a qualidade do solo, a conservação dos recursos hídricos, a biodiversidade funcional e o sequestro de carbono. Esses resultados reforçam seu papel como elemento essencial da agricultura regenerativa e das estratégias de adaptação e mitigação das mudanças climáticas (Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.5.4. Adubação Verde

A adubação verde constitui uma prática agroecológica amplamente utilizada na agricultura regenerativa. Essa técnica consiste no cultivo de espécies vegetais destinadas à proteção e ao enriquecimento do solo. Essas plantas produzem elevada quantidade de biomassa e permanecem sobre ou incorporadas ao solo após seu desenvolvimento. Esse manejo fortalece os processos ecológicos e

melhora a qualidade dos agroecossistemas (Jat *et al.*, 2019; Rhodes, 2017; Opatski, 2025).

A produção de biomassa representa um dos principais benefícios da adubação verde. Os resíduos vegetais aumentam o aporte de matéria orgânica ao solo. Os microrganismos decompõem esse material e transformam parte do carbono em compostos mais estáveis. Esse processo melhora a fertilidade natural e favorece o sequestro de carbono no solo (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

A adubação verde também fortalece a ciclagem de nutrientes. As raízes absorvem nutrientes presentes em diferentes camadas do solo. Após a decomposição da biomassa, esses nutrientes tornam-se novamente disponíveis para as culturas subsequentes. Esse mecanismo reduz perdas por lixiviação e aumenta a eficiência do aproveitamento dos recursos naturais (Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025).

As espécies leguminosas desempenham papel importante nessa prática. Essas plantas estabelecem associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio. Esse processo aumenta a disponibilidade desse nutriente no solo e reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Essa contribuição favorece a sustentabilidade ambiental e diminui emissões associadas à produção e ao uso desses insumos (Dioha; Kumar, 2020; Hao *et al.*, 2025; Xu *et al.*, 2023).

A cobertura proporcionada pela adubação verde protege a superfície do solo. Essa proteção reduz o impacto direto das chuvas e diminui processos erosivos. A cobertura vegetal também reduz a

evaporação e aumenta a retenção de água no solo. Esses benefícios fortalecem a conservação dos recursos hídricos e aumentam a resiliência dos agroecossistemas durante períodos de estiagem (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Krause *et al.*, 2024).

A atividade biológica do solo também aumenta com a adubação verde. Os resíduos vegetais fornecem alimento para bactérias, fungos e outros organismos edáficos. Esses organismos intensificam a decomposição da matéria orgânica e promovem a ciclagem de nutrientes. Essas interações fortalecem a biodiversidade funcional e melhoram a estrutura física do solo (Dittmer *et al.*, 2023; Hao *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A adubação verde apresenta maior eficiência quando integrada a outras práticas regenerativas. A associação com plantio direto, rotação de culturas e cobertura permanente amplia os benefícios ecológicos do sistema. Essa integração melhora simultaneamente a fertilidade do solo, a conservação da água, o sequestro de carbono e a estabilidade produtiva. Esses efeitos fortalecem a sustentabilidade dos agroecossistemas (Jat *et al.*, 2019; Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A adubação verde representa uma prática estratégica para a agricultura regenerativa. Essa técnica melhora a qualidade física, química e biológica do solo. Essa técnica também reduz a dependência de insumos externos e fortalece os serviços ecossistêmicos. Esses resultados reforçam sua importância para a conservação dos recursos naturais, a mitigação das mudanças climáticas e o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis (Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.5.5. Compostagem

A compostagem constitui uma prática agroecológica amplamente utilizada na agricultura regenerativa. Esse processo transforma resíduos orgânicos em composto estável por meio da ação de microrganismos. O composto produzido apresenta elevada concentração de matéria orgânica e nutrientes. Essa prática reduz desperdícios e fortalece a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Rhodes, 2017; Krause *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

A compostagem aumenta o teor de matéria orgânica do solo. O composto melhora a estrutura física e favorece a formação de agregados estáveis. Esse material também aumenta a capacidade de retenção de água e reduz processos erosivos. Esses benefícios fortalecem a qualidade do solo e ampliam sua capacidade produtiva (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

O composto orgânico também melhora as propriedades químicas do solo. Esse material fornece nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas. A liberação desses nutrientes ocorre de forma gradual durante a decomposição da matéria orgânica. Esse processo aumenta a eficiência do aproveitamento nutricional e reduz perdas por lixiviação. Esses efeitos diminuem a necessidade de fertilizantes minerais (Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

A compostagem fortalece a atividade biológica do solo. O composto fornece energia e substrato para bactérias, fungos e outros organismos edáficos. Esses organismos promovem a ciclagem de nutrientes e participam da formação da matéria orgânica estável. Essas interações aumentam a biodiversidade funcional e melhoram

o funcionamento ecológico dos agroecossistemas (Dittmer *et al.*, 2023; Hao *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A utilização de resíduos orgânicos representa outro benefício importante da compostagem. Restos vegetais, resíduos agropecuários e outros materiais biodegradáveis retornam ao sistema produtivo após o processo de compostagem. Essa prática reduz o descarte inadequado de resíduos e favorece a economia circular na agricultura. Esse reaproveitamento amplia a eficiência do uso dos recursos naturais (Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024).

A compostagem também contribui para a mitigação das mudanças climáticas. O aumento da matéria orgânica favorece o sequestro de carbono no solo. A substituição parcial de fertilizantes sintéticos reduz emissões associadas à sua produção e aplicação. Esses mecanismos fortalecem o papel da agricultura regenerativa na redução dos impactos ambientais da atividade agrícola (Smith *et al.*, 2019; Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Xu *et al.*, 2023).

Os benefícios da compostagem tornam-se mais expressivos quando essa prática é integrada ao plantio direto, à rotação de culturas, à adubação verde e à cobertura permanente do solo. Essa integração aumenta a fertilidade, melhora a conservação da água e fortalece os serviços ecossistêmicos. O manejo integrado também amplia a estabilidade produtiva e reduz a dependência de insumos externos (Jat *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A compostagem representa uma prática essencial para a agricultura regenerativa. Essa técnica melhora simultaneamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Essa técnica

também fortalece a biodiversidade, aumenta a eficiência do uso de nutrientes e contribui para o sequestro de carbono. Esses resultados reforçam sua importância para a conservação dos recursos naturais, a mitigação das mudanças climáticas e o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis e resilientes (Storkey *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Opatski, 2025).

2.5.6. Sistemas Agroflorestais

Os sistemas agroflorestais constituem uma prática importante da agricultura regenerativa. Esses sistemas integram árvores, culturas agrícolas e, em alguns casos, animais em uma mesma área de produção. Essa integração aumenta a diversidade biológica e fortalece os processos ecológicos dos agroecossistemas. Esse modelo também favorece a sustentabilidade da produção agrícola em longo prazo (Rhodes, 2017; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

As árvores desempenham funções essenciais nos sistemas agroflorestais. As copas reduzem a incidência direta da radiação solar sobre o solo. As raízes exploram diferentes profundidades e favorecem a absorção de água e nutrientes. A queda de folhas aumenta o aporte de matéria orgânica e estimula a atividade biológica. Esses processos melhoram a fertilidade do solo e ampliam sua estabilidade estrutural (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

Os sistemas agroflorestais também favorecem a conservação dos recursos hídricos. A cobertura vegetal reduz o impacto das chuvas e diminui o escoamento superficial. A melhoria da estrutura do solo aumenta a infiltração e favorece a recarga hídrica. Essas condições reduzem perdas por erosão e ampliam a disponibilidade de água

para as culturas agrícolas (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025).

A biodiversidade aumenta significativamente nesses sistemas. A presença simultânea de diferentes espécies vegetais cria habitats para diversos organismos. Microrganismos, insetos polinizadores, inimigos naturais e outros componentes da fauna encontram melhores condições para seu desenvolvimento. Essas interações fortalecem a biodiversidade funcional e ampliam os serviços ecossistêmicos relacionados ao controle biológico, à polinização e à ciclagem de nutrientes (Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

Os sistemas agroflorestais também contribuem para o sequestro de carbono. As árvores armazenam carbono em sua biomassa durante o crescimento. O aumento da matéria orgânica favorece o armazenamento de carbono no solo. Esses processos reduzem a concentração de dióxido de carbono na atmosfera e contribuem para a mitigação das mudanças climáticas. Esses benefícios aproximam os sistemas agroflorestais dos objetivos da agricultura regenerativa (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A diversificação produtiva representa outra vantagem desse sistema. A produção simultânea de diferentes espécies amplia as fontes de renda e reduz riscos econômicos associados à dependência de uma única cultura. Essa estratégia aumenta a estabilidade produtiva e fortalece a segurança alimentar das propriedades rurais. Esses benefícios favorecem o desenvolvimento rural sustentável (Mulungu *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Os sistemas agroflorestais também aumentam a resiliência climática dos agroecossistemas. A diversidade estrutural reduz os efeitos de eventos climáticos extremos sobre as culturas agrícolas. O microclima criado pelas árvores diminui oscilações de temperatura e reduz perdas de água por evaporação. Essas condições favorecem a adaptação da produção agrícola às mudanças climáticas (Seppelt *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Storkey *et al.*, 2024).

Os sistemas agroflorestais representam uma das estratégias mais completas da agricultura regenerativa. Esses sistemas melhoram simultaneamente a qualidade do solo, a conservação da água, a biodiversidade, o sequestro de carbono e a produtividade agrícola. Esses benefícios reforçam seu papel na construção de agroecossistemas resilientes, sustentáveis e capazes de responder aos desafios ambientais e produtivos do século XXI (Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.5.7. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta

A integração lavoura-pecuária-floresta representa um sistema produtivo baseado na combinação de culturas agrícolas, árvores e produção animal em uma mesma área. Esse modelo promove o uso integrado dos recursos naturais. Essa estratégia fortalece os processos ecológicos e amplia a eficiência do sistema produtivo. A integração também constitui uma das principais práticas associadas à agricultura regenerativa (Paul *et al.*, 2020; Van Selm *et al.*, 2023; Opatski, 2025).

A integração entre os diferentes componentes aumenta a eficiência do uso do solo. As culturas agrícolas produzem alimentos e biomassa. As árvores fornecem proteção ao solo, armazenam

carbono e melhoram o microclima. Os animais participam da ciclagem de nutrientes por meio da deposição de resíduos orgânicos. Essas interações fortalecem o funcionamento dos agroecossistemas e reduzem desperdícios (Paul *et al.*, 2020; Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

O solo recebe diversos benefícios nesse sistema. A cobertura vegetal permanente reduz processos erosivos e protege a superfície contra a ação das chuvas. O aumento da matéria orgânica melhora a estrutura física e amplia a capacidade de retenção de água. A atividade biológica também aumenta devido ao maior aporte de resíduos vegetais e orgânicos. Esses processos favorecem a fertilidade do solo e fortalecem sua qualidade ambiental (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

A integração lavoura-pecuária-floresta também contribui para a conservação dos recursos hídricos. A cobertura vegetal reduz o escoamento superficial e favorece a infiltração da água. As árvores diminuem a evaporação ao proporcionar sombreamento parcial do solo. Essas condições aumentam a disponibilidade hídrica para os componentes do sistema e reduzem os efeitos de períodos de estiagem (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025).

A biodiversidade aumenta significativamente nesses sistemas integrados. A presença simultânea de diferentes espécies vegetais cria habitats para diversos organismos. Microrganismos, insetos polinizadores e inimigos naturais encontram melhores condições para seu desenvolvimento. Essas interações fortalecem a biodiversidade funcional e ampliam os serviços ecossistêmicos relacionados à ciclagem de nutrientes, ao controle biológico e à

polinização (Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

O sistema também favorece a mitigação das mudanças climáticas. As árvores armazenam carbono na biomassa durante seu crescimento. O aumento da matéria orgânica amplia o estoque de carbono no solo. O manejo integrado reduz a degradação ambiental e melhora a eficiência do uso dos recursos naturais. Esses mecanismos contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa e fortalecem a adaptação dos agroecossistemas às mudanças climáticas (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A integração lavoura-pecuária-floresta também apresenta benefícios econômicos. A diversificação das atividades amplia as fontes de renda da propriedade rural. Essa estratégia reduz riscos associados às oscilações de mercado e às condições climáticas. A utilização mais eficiente da área agrícola aumenta a estabilidade produtiva e favorece o desenvolvimento rural sustentável (Mulungu *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023).

Os maiores benefícios desse sistema ocorrem quando os componentes são planejados e manejados de forma integrada. A interação entre lavoura, pecuária e floresta potencializa os processos ecológicos e amplia a eficiência produtiva. Essa integração melhora simultaneamente a qualidade do solo, a conservação da água, a biodiversidade, o sequestro de carbono e a resiliência climática. Esses resultados reforçam a integração lavoura-pecuária-floresta como uma das estratégias mais completas da agricultura regenerativa para promover sistemas agrícolas sustentáveis e resilientes (Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.5.8. Manejo Ecológico de Pragas

O manejo ecológico de pragas constitui uma prática essencial da agricultura regenerativa. Essa abordagem utiliza processos ecológicos para reduzir populações de organismos que causam danos às culturas. O manejo prioriza a prevenção em vez do controle corretivo. Essa estratégia fortalece o equilíbrio biológico dos agroecossistemas e reduz a dependência de defensivos químicos (Rhodes, 2017; Dittmer *et al.*, 2023; Opatski, 2025).

A biodiversidade representa um dos principais fundamentos desse manejo. A diversidade de espécies vegetais favorece o estabelecimento de diferentes organismos benéficos. Esses organismos regulam naturalmente as populações de pragas. Essa interação reduz desequilíbrios ecológicos e aumenta a estabilidade dos sistemas agrícolas. Esse processo fortalece a resiliência dos agroecossistemas (Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

Os inimigos naturais desempenham papel fundamental nesse sistema. Predadores, parasitoides e microrganismos reduzem naturalmente a população de organismos fitófagos. Esses agentes atuam de forma contínua dentro dos agroecossistemas. Essa regulação diminui a necessidade de aplicações frequentes de produtos químicos. Esse mecanismo preserva a qualidade ambiental e reduz impactos sobre organismos não alvo (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024).

A diversificação dos cultivos também fortalece o manejo ecológico. A rotação de culturas interrompe o ciclo biológico de diversas pragas. Os cultivos consorciados dificultam a disseminação de

organismos prejudiciais. A maior diversidade vegetal reduz a disponibilidade contínua de hospedeiros específicos. Essas estratégias diminuem a incidência de surtos populacionais e aumentam a estabilidade ecológica do sistema produtivo (Jat *et al.*, 2019; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A saúde do solo influencia diretamente o equilíbrio fitossanitário. Solos ricos em matéria orgânica apresentam maior atividade biológica. Os microrganismos benéficos competem com organismos potencialmente patogênicos. Esses processos fortalecem o desenvolvimento das plantas e aumentam sua resistência ao ataque de pragas e doenças. Esse efeito reduz a vulnerabilidade das culturas e melhora a produtividade agrícola (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Nthebere *et al.*, 2025).

A cobertura permanente do solo e a vegetação diversificada também favorecem esse manejo. Essas práticas fornecem abrigo e alimento para organismos benéficos. Esses habitats aumentam a sobrevivência de predadores naturais e polinizadores. Essa condição amplia os serviços ecossistêmicos relacionados ao controle biológico e fortalece o equilíbrio ecológico dos agroecossistemas (Hamidov *et al.*, 2018; Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025).

O manejo ecológico também contribui para a sustentabilidade ambiental. A redução do uso de pesticidas diminui riscos de contaminação do solo e da água. Essa prática preserva organismos benéficos e reduz impactos sobre a biodiversidade. Esses benefícios fortalecem a conservação dos recursos naturais e favorecem a adaptação dos sistemas agrícolas às mudanças climáticas (Pe'er *et al.*, 2020; Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

O manejo ecológico apresenta maior eficiência quando integrado às demais práticas regenerativas. A combinação entre rotação de culturas, cobertura permanente do solo, plantio direto, sistemas agroflorestais e conservação da biodiversidade fortalece os mecanismos naturais de regulação das populações de pragas. Essa integração reduz a dependência de insumos químicos, amplia a estabilidade produtiva e contribui para o desenvolvimento de agroecossistemas mais resilientes e sustentáveis (Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.5.9. Diversificação Produtiva

A diversificação produtiva constitui um dos princípios fundamentais da agricultura regenerativa. Essa estratégia consiste na incorporação de diferentes espécies vegetais e, em alguns casos, de componentes pecuários e florestais em um mesmo sistema produtivo. Essa organização aumenta a complexidade dos agroecossistemas. Essa característica fortalece os processos ecológicos e amplia a sustentabilidade da produção agrícola (Brumer *et al.*, 2023; Rhodes, 2017; Opatski, 2025).

A diversificação reduz a dependência de monoculturas. Os diferentes cultivos apresentam exigências nutricionais e ciclos biológicos distintos. Essa alternância melhora o aproveitamento dos recursos naturais e reduz a competição entre espécies. Esse processo aumenta a estabilidade produtiva e diminui riscos associados às oscilações climáticas e econômicas (Jat *et al.*, 2019; Mulungu *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024).

A diversidade vegetal favorece a conservação do solo. Diferentes sistemas radiculares exploram várias camadas do perfil edáfico. Essa

característica melhora a estrutura física do solo e aumenta a infiltração de água. Os resíduos produzidos pelas diferentes culturas ampliam o aporte de matéria orgânica e favorecem a ciclagem de nutrientes. Esses processos fortalecem a fertilidade natural e aumentam a qualidade ambiental do solo (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

A diversificação produtiva também amplia a biodiversidade funcional. A presença de diferentes espécies vegetais cria habitats para microrganismos, polinizadores e inimigos naturais. Esses organismos desempenham funções importantes relacionadas ao controle biológico, à decomposição da matéria orgânica e à polinização. Essas interações aumentam os serviços ecossistêmicos e reduzem a necessidade de insumos externos (Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

Os recursos hídricos também são beneficiados pela diversificação. A cobertura vegetal contínua reduz o impacto das chuvas e diminui o escoamento superficial. A melhoria da estrutura do solo aumenta a infiltração e favorece o armazenamento de água. Esses efeitos reduzem a erosão e fortalecem a capacidade dos sistemas agrícolas de enfrentar períodos de estiagem (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025).

A diversificação também contribui para a mitigação das mudanças climáticas. A maior produção de biomassa aumenta o aporte de carbono ao solo. As diferentes espécies vegetais favorecem o sequestro de carbono e reduzem perdas de matéria orgânica. Esses mecanismos ampliam a estabilidade ecológica dos agroecossistemas e fortalecem sua resiliência diante das alterações

climáticas (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçı; Çakmakçı; Çakmakçı, 2025).

A estabilidade econômica representa outro benefício importante da diversificação produtiva. A produção de diferentes culturas reduz a dependência de uma única fonte de renda. Essa estratégia diminui os riscos provocados por oscilações de preços, perdas climáticas ou problemas fitossanitários. A diversificação também amplia as oportunidades de comercialização e fortalece a segurança econômica das propriedades rurais (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

A diversificação produtiva apresenta melhores resultados quando integrada ao plantio direto, à rotação de culturas, aos sistemas agroflorestais e à integração lavoura-pecuária-floresta. Essa combinação fortalece simultaneamente a saúde do solo, a conservação da água, a biodiversidade e a produtividade agrícola. Esses benefícios tornam a diversificação produtiva uma estratégia essencial para o desenvolvimento de agroecossistemas resilientes, sustentáveis e alinhados aos princípios da agricultura regenerativa (Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.6. Sustentabilidade Socioambiental na Agricultura Regenerativa

A sustentabilidade socioambiental constitui um dos principais objetivos da agricultura regenerativa. Essa abordagem busca integrar conservação ambiental, viabilidade econômica e desenvolvimento social. Esse modelo reconhece que a produção agrícola depende do equilíbrio entre os recursos naturais e as atividades humanas. Essa integração fortalece a resiliência dos

agroecossistemas e favorece o desenvolvimento rural sustentável (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

A dimensão ambiental ocupa posição central nesse modelo produtivo. A agricultura regenerativa promove a recuperação da saúde do solo, a conservação da água e a proteção da biodiversidade. Essas práticas reduzem a degradação ambiental e fortalecem os processos ecológicos responsáveis pela manutenção dos agroecossistemas. Esses benefícios ampliam a capacidade dos sistemas agrícolas de enfrentar as mudanças climáticas (Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A sustentabilidade também depende da eficiência no uso dos recursos naturais. O manejo regenerativo reduz desperdícios e amplia a reciclagem de nutrientes. O aumento da matéria orgânica melhora a fertilidade do solo e reduz a necessidade de insumos externos. Essas estratégias diminuem impactos ambientais e aumentam a estabilidade da produção agrícola (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

A dimensão social representa outro componente essencial da agricultura regenerativa. Essa abordagem valoriza o conhecimento dos agricultores e incentiva a participação das comunidades rurais. A integração entre conhecimento científico e experiência prática favorece a adoção de tecnologias compatíveis com as características locais. Esse processo fortalece a autonomia dos produtores e amplia a capacidade de adaptação dos sistemas produtivos (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

A diversificação produtiva também contribui para a sustentabilidade social. A produção de diferentes culturas reduz a dependência

econômica de um único produto agrícola. Essa estratégia amplia as oportunidades de comercialização e fortalece a segurança alimentar das famílias rurais. A diversificação também reduz riscos associados às oscilações climáticas e de mercado (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

A agricultura regenerativa também favorece a mitigação das mudanças climáticas. O aumento do sequestro de carbono reduz a concentração de dióxido de carbono na atmosfera. A conservação do solo e da vegetação melhora a estabilidade ecológica dos agroecossistemas. Essas práticas contribuem para o cumprimento de metas globais relacionadas à sustentabilidade ambiental e à redução das emissões de gases de efeito estufa (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

Os benefícios econômicos complementam as dimensões ambiental e social. A melhoria da qualidade do solo aumenta a eficiência produtiva e reduz custos associados ao uso intensivo de fertilizantes e defensivos químicos. Os sistemas regenerativos também apresentam maior estabilidade diante de eventos climáticos extremos. Essa condição fortalece a rentabilidade das propriedades e favorece sua permanência em longo prazo (Krause *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Wardle *et al.*, 2024).

A sustentabilidade socioambiental depende da integração entre diferentes práticas regenerativas. A adoção isolada de uma única estratégia produz benefícios limitados. A combinação entre conservação do solo, proteção da água, fortalecimento da biodiversidade, diversificação produtiva e participação social gera resultados mais consistentes. Essa integração amplia a resiliência dos agroecossistemas e fortalece a contribuição da agricultura

regenerativa para a segurança alimentar, a conservação ambiental e o desenvolvimento rural sustentável (Storkey *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.6.1. Conceitos de Sustentabilidade Socioambiental

A sustentabilidade socioambiental representa um modelo de desenvolvimento baseado na integração entre conservação ambiental, bem-estar social e viabilidade econômica. Esse conceito busca equilibrar o uso dos recursos naturais com as necessidades das gerações atuais e futuras. Essa perspectiva reconhece que o desenvolvimento agrícola depende da manutenção dos processos ecológicos e da valorização das comunidades rurais (Brumer *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

A dimensão ambiental constitui um dos pilares da sustentabilidade socioambiental. Essa dimensão envolve a conservação do solo, da água, da biodiversidade e dos demais recursos naturais. A preservação desses componentes mantém o funcionamento dos ecossistemas e favorece a continuidade da produção agrícola. Esses processos também reduzem impactos ambientais e fortalecem a resiliência frente às mudanças climáticas (Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A dimensão social também integra esse conceito. Essa dimensão valoriza a qualidade de vida das populações rurais, a inclusão social e o fortalecimento das comunidades locais. A sustentabilidade socioambiental reconhece a importância do conhecimento tradicional e incentiva a participação dos agricultores na construção de sistemas produtivos mais eficientes e adaptados às condições regionais. Essa abordagem fortalece o desenvolvimento rural

sustentável (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

A dimensão econômica completa os fundamentos da sustentabilidade socioambiental. Os sistemas agrícolas precisam apresentar viabilidade financeira para garantir sua continuidade. A utilização eficiente dos recursos naturais reduz custos de produção e aumenta a estabilidade econômica das propriedades rurais. Essa condição favorece investimentos em práticas conservacionistas e amplia a permanência das atividades agrícolas no longo prazo (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

A sustentabilidade socioambiental também depende da integração entre essas três dimensões. A conservação ambiental fortalece a produtividade agrícola. A estabilidade econômica favorece a adoção de práticas sustentáveis. O desenvolvimento social amplia a capacidade de inovação e adaptação das comunidades rurais. Essas relações demonstram que os componentes ambientais, sociais e econômicos apresentam elevada interdependência (Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A agricultura regenerativa incorpora esses princípios de forma integrada. Essa abordagem utiliza práticas que recuperam os ecossistemas, conservam os recursos naturais e fortalecem os serviços ecossistêmicos. O manejo regenerativo também estimula a diversificação produtiva e reduz a dependência de insumos externos. Essas estratégias favorecem simultaneamente a conservação ambiental e o desenvolvimento socioeconômico das propriedades rurais (Rhodes, 2017; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

A sustentabilidade socioambiental ultrapassa a simples redução de impactos ambientais. Esse conceito envolve a construção de sistemas produtivos capazes de conservar os recursos naturais, promover inclusão social e garantir estabilidade econômica. Essa integração fortalece a segurança alimentar, amplia a resiliência dos agroecossistemas e contribui para o desenvolvimento rural sustentável em longo prazo (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.6.2. Conservação Ambiental

A conservação ambiental constitui um dos principais fundamentos da agricultura regenerativa. Essa abordagem busca preservar os recursos naturais e recuperar ecossistemas degradados. Esse objetivo depende da integração entre práticas agrícolas sustentáveis e processos ecológicos naturais. Essa estratégia fortalece a qualidade ambiental e amplia a sustentabilidade da produção agrícola (Rhodes, 2017; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

O solo representa um dos recursos mais importantes para a conservação ambiental. A agricultura regenerativa utiliza práticas que reduzem a erosão e preservam a matéria orgânica. O manejo conservacionista melhora a estrutura física, química e biológica do solo. Esses processos favorecem a fertilidade natural e aumentam a capacidade produtiva dos agroecossistemas (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A conservação dos recursos hídricos também integra esse modelo de produção. A cobertura permanente do solo reduz o escoamento superficial e favorece a infiltração da água. O aumento da matéria orgânica amplia a capacidade de retenção hídrica. Essas condições

reduzem perdas por erosão e contribuem para a manutenção da qualidade da água. Esses benefícios fortalecem a estabilidade ambiental dos sistemas agrícolas (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025).

A biodiversidade desempenha papel essencial na conservação ambiental. A diversidade de plantas, animais e microrganismos fortalece os processos ecológicos dos agroecossistemas. Esses organismos participam da ciclagem de nutrientes, da polinização e do controle biológico de pragas. Essas interações aumentam a estabilidade ecológica e reduzem a necessidade de insumos externos (Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A agricultura regenerativa também favorece a recuperação de áreas degradadas. As práticas regenerativas aumentam a cobertura vegetal e estimulam a atividade biológica do solo. O aumento da matéria orgânica melhora a fertilidade e favorece o restabelecimento das funções ecológicas. Esses processos recuperam a capacidade produtiva das áreas agrícolas e reduzem impactos ambientais acumulados ao longo do tempo (Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

A mitigação das mudanças climáticas representa outro benefício da conservação ambiental. O aumento do carbono orgânico no solo reduz a concentração de dióxido de carbono na atmosfera. As árvores, a cobertura vegetal e os sistemas diversificados ampliam o sequestro de carbono e fortalecem a estabilidade climática. Esses mecanismos contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa e aumentam a resiliência dos agroecossistemas (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A conservação ambiental também favorece a continuidade da produção agrícola. Os agroecossistemas conservados apresentam maior capacidade de adaptação às alterações climáticas. Esses sistemas utilizam os recursos naturais de forma mais eficiente e apresentam menor vulnerabilidade aos eventos extremos. Essa condição fortalece a segurança alimentar e amplia a sustentabilidade econômica das propriedades rurais (Mulungu *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A conservação ambiental depende da integração entre diferentes práticas regenerativas. A combinação entre conservação do solo, proteção da água, fortalecimento da biodiversidade e recuperação de áreas degradadas produz efeitos complementares sobre o funcionamento dos agroecossistemas. Essa integração amplia os serviços ecossistêmicos, fortalece a sustentabilidade socioambiental e consolida a agricultura regenerativa como uma estratégia eficiente para enfrentar os desafios ambientais da agricultura contemporânea (Storkey *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.6.3. Sustentabilidade Econômica

A sustentabilidade econômica representa um dos pilares da agricultura regenerativa. Esse conceito refere-se à capacidade dos sistemas agrícolas de manter sua viabilidade financeira ao longo do tempo. A estabilidade econômica permite a continuidade da produção e favorece a adoção de práticas conservacionistas. Essa condição fortalece o desenvolvimento rural sustentável e amplia a segurança alimentar (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

A agricultura regenerativa reduz custos por meio do uso mais eficiente dos recursos naturais. O aumento da matéria orgânica melhora a fertilidade do solo e reduz a necessidade de fertilizantes sintéticos. O manejo ecológico de pragas diminui a dependência de defensivos químicos. Essas estratégias reduzem despesas operacionais e aumentam a eficiência produtiva das propriedades rurais (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A diversificação produtiva também fortalece a sustentabilidade econômica. A produção de diferentes culturas reduz a dependência de uma única fonte de renda. Essa estratégia diminui os riscos associados às oscilações de preços e às perdas provocadas por eventos climáticos extremos. A diversificação amplia as oportunidades de comercialização e favorece maior estabilidade financeira das propriedades agrícolas (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

A melhoria da qualidade do solo aumenta a eficiência produtiva. Solos mais férteis favorecem o desenvolvimento das culturas e ampliam a produtividade agrícola. A maior retenção de água reduz perdas durante períodos de estiagem. Esses benefícios aumentam a estabilidade da produção e reduzem riscos econômicos associados às variações climáticas (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025).

A integração entre diferentes atividades produtivas também amplia a sustentabilidade econômica. Sistemas agroflorestais e integração lavoura-pecuária-floresta diversificam a produção e distribuem melhor o uso dos recursos naturais ao longo do ano. Essa organização aumenta a eficiência da propriedade e reduz a

vulnerabilidade econômica diante das oscilações do mercado agrícola (Paul *et al.*, 2020; Van Selm *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025).

A sustentabilidade econômica também depende da resiliência dos agroecossistemas. Sistemas agrícolas resilientes apresentam maior capacidade de manter a produção sob condições ambientais adversas. A conservação do solo, da água e da biodiversidade reduz perdas produtivas e melhora a estabilidade dos rendimentos. Essa condição fortalece a competitividade das propriedades rurais no longo prazo (Rahman *et al.*, 2024; Storkey *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

Os benefícios econômicos também geram impactos sociais positivos. A maior estabilidade financeira favorece a permanência das famílias no meio rural e amplia a geração de trabalho e renda. O fortalecimento econômico das propriedades estimula investimentos em inovação, qualificação técnica e conservação ambiental. Esses processos contribuem para o desenvolvimento sustentável das comunidades rurais (Brumer *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024).

A sustentabilidade econômica não depende apenas do aumento da produtividade. Os estudos indicam que a eficiência no uso dos recursos naturais, a redução de custos, a diversificação produtiva e a resiliência climática constituem fatores igualmente importantes para a estabilidade financeira dos sistemas agrícolas. Essa integração reforça a agricultura regenerativa como um modelo capaz de conciliar rentabilidade, conservação ambiental e desenvolvimento socioeconômico em longo prazo (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.6.4. Sustentabilidade Social

A sustentabilidade social representa um dos pilares da agricultura regenerativa. Esse conceito envolve a melhoria da qualidade de vida das populações rurais e o fortalecimento das relações entre produção agrícola, sociedade e meio ambiente. A sustentabilidade social busca promover inclusão, equidade e desenvolvimento humano. Esses objetivos fortalecem a permanência das famílias no campo e ampliam a capacidade de adaptação dos sistemas produtivos (Brumer *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

A agricultura regenerativa valoriza o conhecimento dos agricultores. Essa abordagem reconhece a importância das experiências acumuladas pelas comunidades rurais. O conhecimento tradicional complementa as informações produzidas pela pesquisa científica. Essa integração favorece a adoção de práticas adaptadas às condições ambientais e socioeconômicas de cada região (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

A participação social também fortalece os sistemas regenerativos. Agricultores, pesquisadores, técnicos e instituições compartilham conhecimentos durante o desenvolvimento das práticas agrícolas. Essa cooperação amplia a inovação e facilita a disseminação de tecnologias sustentáveis. Esse processo aumenta a capacidade das comunidades de responder aos desafios ambientais e econômicos (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024).

A diversificação produtiva contribui para a sustentabilidade social. A produção de diferentes culturas amplia as oportunidades de trabalho e renda nas propriedades rurais. Essa estratégia reduz a dependência econômica de uma única atividade agrícola. A maior

estabilidade financeira melhora as condições de vida das famílias e fortalece a permanência da população no meio rural (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

A agricultura regenerativa também favorece a segurança alimentar. Os sistemas diversificados ampliam a oferta de alimentos e reduzem a vulnerabilidade da produção diante das mudanças climáticas. A melhoria da qualidade do solo e da disponibilidade de água fortalece a estabilidade produtiva. Esses benefícios aumentam a disponibilidade de alimentos para as comunidades e contribuem para o desenvolvimento sustentável (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A conservação ambiental produz reflexos positivos sobre a sociedade. A redução da degradação do solo e da contaminação da água melhora a qualidade ambiental das áreas rurais. A menor dependência de insumos químicos reduz riscos ambientais e ocupacionais. Essas condições favorecem ambientes mais seguros para produtores, trabalhadores e consumidores (Pe'er *et al.*, 2020; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rosier *et al.*, 2025).

A sustentabilidade social também depende da capacidade de adaptação das comunidades rurais. Sistemas agrícolas resilientes reduzem perdas provocadas por eventos climáticos extremos e aumentam a estabilidade econômica das propriedades. Essa condição fortalece a permanência das famílias na atividade agrícola e reduz a vulnerabilidade social frente às mudanças ambientais e econômicas (Rahman *et al.*, 2024; Storkey *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024).

A sustentabilidade social resulta da integração entre conservação ambiental, viabilidade econômica e participação comunitária. A agricultura regenerativa fortalece essa integração ao valorizar os recursos naturais e as pessoas envolvidas na produção agrícola. Essa abordagem amplia a segurança alimentar, promove o desenvolvimento rural sustentável e contribui para a construção de agroecossistemas mais resilientes, inclusivos e socialmente responsáveis (Brumer *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.6.5. Desenvolvimento Rural Sustentável

O desenvolvimento rural sustentável constitui um dos principais objetivos da agricultura regenerativa. Esse conceito integra crescimento econômico, conservação ambiental e inclusão social. Essa abordagem busca melhorar as condições de vida das populações rurais sem comprometer a disponibilidade dos recursos naturais para as futuras gerações. Esse modelo fortalece a permanência da atividade agrícola em longo prazo (Brumer *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

A agricultura regenerativa contribui para o desenvolvimento rural ao promover o uso sustentável dos recursos naturais. As práticas regenerativas recuperam a qualidade do solo, conservam os recursos hídricos e fortalecem a biodiversidade. Esses processos aumentam a estabilidade dos agroecossistemas e favorecem a continuidade da produção agrícola. Essa condição amplia a segurança ambiental das propriedades rurais (Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rosier *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

O fortalecimento da economia rural também representa um componente importante desse desenvolvimento. A melhoria da

fertilidade do solo reduz custos de produção e aumenta a eficiência do uso dos recursos naturais. A diversificação produtiva amplia as fontes de renda e reduz riscos econômicos associados às oscilações climáticas e de mercado. Esses benefícios fortalecem a estabilidade financeira das propriedades agrícolas (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

A participação das comunidades rurais também favorece o desenvolvimento sustentável. Agricultores compartilham conhecimentos e adaptam práticas às condições locais. A integração entre conhecimento científico e experiência prática amplia a eficiência das estratégias de manejo. Esse processo fortalece a autonomia das comunidades e incentiva a inovação nos sistemas produtivos (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

A diversificação dos sistemas agrícolas gera impactos sociais positivos. A integração entre diferentes atividades produtivas amplia oportunidades de trabalho e renda. Essa estratégia reduz a dependência de uma única atividade econômica e aumenta a segurança alimentar das famílias rurais. Esses efeitos contribuem para reduzir vulnerabilidades sociais e fortalecer o desenvolvimento regional (Mulungu *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023).

A conservação ambiental fortalece o desenvolvimento rural sustentável. A proteção do solo, da água e da biodiversidade mantém os serviços ecossistêmicos essenciais para a produção agrícola. Esses serviços favorecem a ciclagem de nutrientes, a polinização, o controle biológico e a regulação hídrica. Esses processos aumentam a produtividade e reduzem impactos

ambientais ao longo do tempo (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A adaptação às mudanças climáticas também depende do desenvolvimento rural sustentável. Sistemas regenerativos apresentam maior capacidade de resistir a secas, chuvas intensas e oscilações climáticas. A melhoria da qualidade do solo e da cobertura vegetal aumenta a resiliência dos agroecossistemas. Essa condição reduz perdas produtivas e fortalece a estabilidade das comunidades rurais (Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

O desenvolvimento rural sustentável depende da integração entre dimensões ambientais, econômicas e sociais. A agricultura regenerativa fortalece essa integração por meio da conservação dos recursos naturais, da valorização das comunidades rurais e da promoção de sistemas produtivos economicamente viáveis. Essa abordagem amplia a segurança alimentar, aumenta a resiliência dos agroecossistemas e contribui para um modelo de desenvolvimento rural mais equilibrado, inclusivo e sustentável (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.6.6. Serviços Ambientais e Benefícios Ecosistêmicos

Os serviços ambientais representam os benefícios gerados pelos ecossistemas em decorrência da conservação e do manejo sustentável dos recursos naturais. Esses serviços resultam do funcionamento dos processos ecológicos que sustentam a vida e a produção agrícola. A agricultura regenerativa fortalece esses processos ao promover práticas que recuperam os ecossistemas e

ampliam sua capacidade funcional (Pe'er *et al.*, 2020; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

Os benefícios ecossistêmicos desempenham papel essencial na sustentabilidade da produção agrícola. A ciclagem de nutrientes mantém a fertilidade do solo. A polinização favorece a reprodução de diversas espécies cultivadas. O controle biológico reduz naturalmente a ocorrência de pragas. Esses processos diminuem a dependência de insumos externos e fortalecem a estabilidade dos agroecossistemas (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A conservação do solo gera importantes serviços ambientais. O aumento da matéria orgânica melhora a estrutura física e amplia a retenção de água. A cobertura permanente reduz processos erosivos e preserva nutrientes. Esses mecanismos mantêm a produtividade agrícola e aumentam a capacidade dos sistemas de enfrentar eventos climáticos extremos (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

Os recursos hídricos também são beneficiados pelas práticas regenerativas. A melhoria da infiltração reduz o escoamento superficial e favorece a recarga de aquíferos. A conservação da vegetação protege nascentes e reduz o transporte de sedimentos para corpos d'água. Esses processos preservam a qualidade da água e fortalecem a disponibilidade hídrica para os sistemas produtivos e para a sociedade (Hamidov *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025).

A biodiversidade amplia a oferta de serviços ecossistêmicos. A diversidade de plantas, microrganismos, insetos e outros

organismos fortalece as interações ecológicas. Esses organismos participam da decomposição da matéria orgânica, da ciclagem de nutrientes, da polinização e do controle biológico. Essas funções aumentam a estabilidade ecológica dos agroecossistemas e reduzem sua vulnerabilidade ambiental (Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

O sequestro de carbono representa um dos principais serviços ambientais associados à agricultura regenerativa. O aumento da matéria orgânica favorece o armazenamento de carbono no solo. Árvores e outras espécies vegetais também acumulam carbono na biomassa. Esses mecanismos reduzem a concentração de dióxido de carbono na atmosfera e contribuem para a mitigação das mudanças climáticas (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

Os serviços ambientais também produzem benefícios sociais e econômicos. A melhoria da qualidade do solo aumenta a estabilidade produtiva e reduz custos relacionados ao uso intensivo de fertilizantes e defensivos. A conservação dos recursos naturais amplia a segurança alimentar e fortalece a qualidade de vida das populações rurais. Esses benefícios favorecem o desenvolvimento rural sustentável e ampliam a resiliência das propriedades agrícolas (Mulungu *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

Os serviços ambientais e os benefícios ecossistêmicos apresentam elevada interdependência. A conservação do solo favorece a retenção de água. A biodiversidade fortalece a ciclagem de nutrientes e o controle biológico. O aumento da matéria orgânica potencializa simultaneamente esses processos. Essa integração amplia a funcionalidade dos agroecossistemas e reforça a

agricultura regenerativa como uma estratégia eficiente para promover sustentabilidade socioambiental, segurança alimentar e adaptação às mudanças climáticas (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.7. Agricultura Regenerativa e Segurança Alimentar

A segurança alimentar representa um dos principais desafios da agricultura contemporânea. O crescimento populacional aumenta a demanda por alimentos. As mudanças climáticas intensificam riscos para a produção agrícola. A degradação dos recursos naturais também compromete a capacidade produtiva dos agroecossistemas. Esses fatores exigem modelos agrícolas capazes de produzir alimentos de forma sustentável (Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022; Opatski, 2025).

A agricultura regenerativa contribui para a segurança alimentar ao recuperar a funcionalidade dos ecossistemas agrícolas. Essa abordagem melhora a qualidade do solo, conserva a água e fortalece a biodiversidade. Esses processos aumentam a estabilidade produtiva e reduzem perdas decorrentes da degradação ambiental. Essa estratégia amplia a capacidade de produção de alimentos em longo prazo (Rhodes, 2017; Krause *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A saúde do solo exerce papel central na segurança alimentar. Solos ricos em matéria orgânica apresentam maior fertilidade e melhor retenção de água. Essas características favorecem o desenvolvimento das culturas e aumentam sua produtividade. A melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo também reduz a necessidade de insumos externos e fortalece a

sustentabilidade da produção agrícola (Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025).

A diversificação produtiva amplia a disponibilidade de alimentos. A produção de diferentes espécies vegetais reduz a dependência de monoculturas e diminui riscos associados às oscilações climáticas e fitossanitárias. Essa estratégia favorece a oferta contínua de alimentos e aumenta a estabilidade econômica das propriedades rurais. Esses benefícios fortalecem a segurança alimentar das comunidades (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

A conservação dos recursos naturais também fortalece a produção de alimentos. A proteção do solo reduz processos erosivos e preserva nutrientes. A conservação da água aumenta sua disponibilidade para as culturas. A manutenção da biodiversidade favorece a polinização, a ciclagem de nutrientes e o controle biológico de pragas. Esses serviços ecossistêmicos sustentam a produtividade agrícola ao longo do tempo (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A agricultura regenerativa também aumenta a resiliência dos agroecossistemas. Sistemas regenerativos apresentam maior capacidade de adaptação a secas, chuvas intensas e outros eventos climáticos extremos. A melhoria da estrutura do solo e da cobertura vegetal reduz perdas produtivas durante essas condições adversas. Essa estabilidade favorece a continuidade do abastecimento alimentar (Hamidov *et al.*, 2018; Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022).

Os benefícios econômicos reforçam a segurança alimentar. A redução dos custos de produção e a maior estabilidade da produtividade fortalecem a viabilidade financeira das propriedades rurais. A diversificação das fontes de renda reduz vulnerabilidades econômicas e amplia a capacidade dos agricultores de manter a produção agrícola em diferentes cenários. Esses fatores contribuem para o fortalecimento das cadeias alimentares (Brumer *et al.*, 2023; Mulungu *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024).

A segurança alimentar depende da integração entre conservação ambiental, estabilidade econômica e inclusão social. A agricultura regenerativa reúne esses componentes ao promover práticas que recuperam os ecossistemas, fortalecem a produtividade agrícola e aumentam a resiliência dos sistemas produtivos. Essa integração amplia a capacidade de produzir alimentos de forma sustentável e reforça o papel da agricultura regenerativa como estratégia para enfrentar os desafios alimentares e ambientais do século XXI (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.7.1. Conceitos de Segurança Alimentar

A segurança alimentar refere-se à garantia de acesso regular e permanente a alimentos suficientes, seguros e de qualidade. Esse conceito envolve a disponibilidade, o acesso, a utilização adequada dos alimentos e a estabilidade desses fatores ao longo do tempo. A segurança alimentar depende do funcionamento integrado dos sistemas de produção, distribuição e consumo. Esses elementos sustentam o bem-estar da população e o desenvolvimento sustentável (Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022; Opatski, 2025).

A disponibilidade de alimentos constitui um dos componentes centrais da segurança alimentar. Os sistemas agrícolas precisam manter níveis adequados de produção para atender à demanda da população. A produtividade depende da conservação do solo, da disponibilidade de água e da manutenção da biodiversidade. Esses fatores determinam a capacidade dos agroecossistemas de produzir alimentos de forma contínua (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Rosier *et al.*, 2025).

O acesso aos alimentos representa outro elemento essencial desse conceito. A produção agrícola deve ser acompanhada por condições econômicas e sociais que permitam à população obter alimentos em quantidade e qualidade suficientes. A estabilidade econômica das propriedades rurais fortalece a oferta de produtos e contribui para a redução da insegurança alimentar. Esse processo amplia a sustentabilidade das cadeias de abastecimento (Brumer *et al.*, 2023; Mulungu *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024).

A qualidade dos alimentos também integra a segurança alimentar. Os alimentos devem apresentar valor nutricional adequado e condições sanitárias apropriadas para o consumo humano. Sistemas agrícolas sustentáveis favorecem a produção de alimentos em ambientes com menor degradação ambiental e menor dependência de insumos químicos. Essas características fortalecem a qualidade da produção agrícola e promovem benefícios à saúde da população (Pe'er *et al.*, 2020; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

A estabilidade da produção representa outro requisito importante. Eventos climáticos extremos, degradação ambiental e perdas de fertilidade do solo podem comprometer a oferta de alimentos.

Sistemas agrícolas resilientes reduzem esses riscos ao conservar os recursos naturais e fortalecer os processos ecológicos. Essa capacidade aumenta a continuidade da produção e reduz a vulnerabilidade dos sistemas alimentares (Seppelt *et al.*, 2022; Hamidov *et al.*, 2018; Storkey *et al.*, 2024).

A agricultura regenerativa apresenta forte relação com os princípios da segurança alimentar. Essa abordagem recupera a qualidade do solo, conserva a água e amplia a biodiversidade funcional. Essas práticas aumentam a produtividade agrícola e fortalecem a estabilidade dos agroecossistemas. Esses benefícios favorecem a produção sustentável de alimentos em longo prazo (Rhodes, 2017; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

A segurança alimentar depende da integração entre fatores ambientais, econômicos e sociais. A produção de alimentos precisa ocorrer em sistemas capazes de conservar os recursos naturais e garantir estabilidade produtiva. A agricultura regenerativa reúne esses elementos ao fortalecer os serviços ecossistêmicos, reduzir impactos ambientais e ampliar a resiliência dos sistemas agrícolas. Essa integração reforça seu potencial como estratégia para promover segurança alimentar e desenvolvimento sustentável diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.7.2. Disponibilidade de Alimentos

A disponibilidade de alimentos constitui um dos pilares da segurança alimentar. Esse componente refere-se à capacidade dos sistemas agrícolas de produzir alimentos em quantidade suficiente para atender às necessidades da população. A manutenção dessa

capacidade depende da qualidade dos recursos naturais e da estabilidade dos processos produtivos. Esses fatores determinam o funcionamento sustentável das cadeias alimentares (Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022; Opatski, 2025).

A qualidade do solo influencia diretamente a disponibilidade de alimentos. Solos férteis apresentam maior capacidade de sustentar o crescimento das culturas agrícolas. A presença de matéria orgânica melhora a retenção de água e favorece a disponibilidade de nutrientes. Essas condições aumentam a produtividade e reduzem perdas durante os ciclos produtivos (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

A conservação dos recursos hídricos também fortalece a disponibilidade de alimentos. A infiltração adequada da água aumenta sua disponibilidade para as plantas. A cobertura permanente do solo reduz a evaporação e protege contra processos erosivos. Esses mecanismos favorecem a estabilidade da produção mesmo em períodos de irregularidade climática (Hamidov *et al.*, 2018; Nthebere *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

A biodiversidade funcional contribui para a manutenção da produção agrícola. Polinizadores aumentam a eficiência reprodutiva de diversas culturas. Microrganismos favorecem a ciclagem de nutrientes e melhoram a fertilidade do solo. Inimigos naturais reduzem a ocorrência de pragas. Esses processos ampliam os serviços ecossistêmicos e fortalecem a disponibilidade de alimentos (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A diversificação produtiva também aumenta a disponibilidade alimentar. A produção de diferentes espécies reduz a dependência

de monoculturas e amplia a variedade de alimentos produzidos. Essa estratégia diminui riscos associados às oscilações climáticas, fitossanitárias e econômicas. Esse modelo favorece maior estabilidade da oferta ao longo do tempo (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

A agricultura regenerativa fortalece esses processos por meio da recuperação dos agroecossistemas. O manejo regenerativo melhora a saúde do solo, conserva a água e amplia a biodiversidade. Essas práticas aumentam a resiliência dos sistemas agrícolas e reduzem perdas provocadas por eventos climáticos extremos. Esses benefícios favorecem a continuidade da produção de alimentos (Rhodes, 2017; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

As mudanças climáticas representam um desafio para a disponibilidade de alimentos. Secas prolongadas, chuvas intensas e elevação das temperaturas reduzem a estabilidade produtiva de muitos sistemas agrícolas. Agroecossistemas regenerativos apresentam maior capacidade de adaptação a essas condições devido à conservação dos recursos naturais e ao fortalecimento dos processos ecológicos. Essa característica amplia a segurança da produção agrícola em longo prazo (Seppelt *et al.*, 2022; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A disponibilidade de alimentos depende da integração entre conservação ambiental, eficiência produtiva e resiliência climática. A agricultura regenerativa fortalece esses componentes ao recuperar os recursos naturais e promover sistemas produtivos mais diversificados e sustentáveis. Essa integração amplia a capacidade de produzir alimentos de forma contínua e reforça a contribuição da

agricultura regenerativa para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.7.3. Estabilidade da Produção Agrícola

A estabilidade da produção agrícola representa um dos principais requisitos para a segurança alimentar. Esse conceito refere-se à capacidade dos sistemas agrícolas de manter níveis consistentes de produção ao longo do tempo. Essa estabilidade reduz oscilações provocadas por fatores ambientais, econômicos e biológicos. Esse processo fortalece a continuidade do abastecimento alimentar e a sustentabilidade da produção (Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022; Opatski, 2025).

A qualidade do solo exerce influência direta sobre a estabilidade produtiva. Solos ricos em matéria orgânica apresentam maior fertilidade e melhor estrutura física. Essas características aumentam a retenção de água e favorecem a disponibilidade de nutrientes. Essas condições reduzem perdas produtivas e ampliam a capacidade de recuperação das culturas após eventos climáticos adversos (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

A conservação dos recursos hídricos também fortalece a estabilidade da produção. A infiltração adequada da água aumenta sua disponibilidade para as plantas durante períodos de baixa precipitação. A cobertura permanente do solo reduz a evaporação e protege contra processos erosivos. Esses mecanismos mantêm condições mais favoráveis ao desenvolvimento das culturas ao longo dos diferentes ciclos produtivos (Hamidov *et al.*, 2018; Nthebereg *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

A biodiversidade funcional aumenta a estabilidade dos agroecossistemas. A diversidade de plantas, microrganismos e organismos benéficos fortalece os processos ecológicos relacionados à ciclagem de nutrientes, à polinização e ao controle biológico de pragas. Essas interações reduzem a vulnerabilidade das culturas e favorecem maior regularidade na produção agrícola (Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A diversificação produtiva também contribui para a estabilidade da produção. Sistemas com diferentes espécies vegetais distribuem melhor os riscos associados a eventos climáticos, pragas e doenças. A perda de desempenho de uma cultura pode ser compensada pelo desempenho de outras espécies presentes no sistema. Essa estratégia reduz oscilações produtivas e fortalece a segurança econômica das propriedades rurais (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

As práticas regenerativas aumentam a resiliência dos sistemas agrícolas frente às mudanças climáticas. O plantio direto, a cobertura permanente do solo, a rotação de culturas e os sistemas agroflorestais melhoram a qualidade ambiental dos agroecossistemas. Essas práticas reduzem os impactos provocados por secas prolongadas, chuvas intensas e variações de temperatura. Esses benefícios favorecem maior estabilidade da produção agrícola em longo prazo (Jat *et al.*, 2019; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

A estabilidade produtiva também apresenta importância econômica e social. Sistemas agrícolas estáveis reduzem incertezas para os produtores e fortalecem o abastecimento dos mercados consumidores. Essa condição favorece a geração contínua de renda

e amplia a segurança alimentar das populações. Esses benefícios contribuem para o desenvolvimento rural sustentável e para a resiliência das cadeias produtivas (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Souissi *et al.*, 2024).

A estabilidade da produção agrícola depende da integração entre conservação ambiental, diversificação produtiva e manejo regenerativo. A recuperação do solo, a conservação da água, a ampliação da biodiversidade e a redução da degradação ambiental fortalecem simultaneamente a produtividade e a resiliência dos agroecossistemas. Essa integração consolida a agricultura regenerativa como uma estratégia capaz de promover estabilidade produtiva, segurança alimentar e sustentabilidade em longo prazo (Rosier *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.7.4. Qualidade Nutricional dos Alimentos

A qualidade nutricional dos alimentos constitui um componente essencial da segurança alimentar. Esse conceito refere-se à capacidade dos alimentos de fornecer nutrientes necessários para a manutenção da saúde humana. A qualidade nutricional depende das condições de produção, da fertilidade do solo e da conservação dos recursos naturais. Esses fatores influenciam diretamente o valor biológico dos alimentos produzidos (Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022; Opatski, 2025).

A saúde do solo exerce papel fundamental na qualidade nutricional dos alimentos. Solos ricos em matéria orgânica apresentam maior disponibilidade de nutrientes para as plantas. A atividade biológica intensifica a ciclagem de nutrientes e favorece sua absorção pelas culturas. Esses processos contribuem para a formação de alimentos

com melhor composição nutricional (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

A agricultura regenerativa promove práticas que melhoram a qualidade do solo e fortalecem a nutrição vegetal. A cobertura permanente do solo reduz perdas de nutrientes por erosão. A adubação verde aumenta a disponibilidade de nitrogênio e outros elementos essenciais. A compostagem fornece matéria orgânica e amplia a fertilidade natural do solo. Essas práticas favorecem o desenvolvimento equilibrado das plantas e contribuem para a produção de alimentos de maior qualidade (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A biodiversidade também influencia a qualidade nutricional dos alimentos. Sistemas produtivos diversificados favorecem o equilíbrio ecológico e melhoram a eficiência da ciclagem de nutrientes. A diversidade de espécies vegetais amplia a disponibilidade de diferentes alimentos para a população. Essa característica fortalece dietas mais variadas e nutricionalmente equilibradas (Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

A redução da dependência de insumos químicos representa outro benefício da agricultura regenerativa. O manejo ecológico de pragas e o fortalecimento dos processos naturais diminuem a necessidade de aplicações frequentes de defensivos agrícolas. Essa estratégia reduz impactos ambientais e favorece sistemas produtivos mais equilibrados. Esse modelo fortalece a produção sustentável de alimentos (Pe'er *et al.*, 2020; Çakmakçı; Çakmakçı; Çakmakçı, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

A estabilidade produtiva também contribui para a qualidade dos alimentos. Agroecossistemas resilientes apresentam maior capacidade de manter condições adequadas de crescimento das culturas diante das variações climáticas. A conservação da água, do solo e da biodiversidade reduz estresses ambientais e favorece o desenvolvimento vegetal. Esses fatores contribuem para a manutenção da qualidade dos produtos agrícolas (Hamidov *et al.*, 2018; Seppelt *et al.*, 2022; Rosier *et al.*, 2025).

A diversificação produtiva amplia a oferta de alimentos com diferentes características nutricionais. A produção de múltiplas espécies vegetais favorece maior variedade alimentar e reduz a dependência de poucos cultivos. Essa estratégia fortalece a segurança alimentar e contribui para dietas mais diversificadas e equilibradas. Esses benefícios apresentam importância tanto para os produtores quanto para os consumidores (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

A qualidade nutricional dos alimentos depende da integração entre conservação ambiental, manejo regenerativo e estabilidade produtiva. A agricultura regenerativa fortalece esses componentes por meio da recuperação da saúde do solo, da conservação dos recursos naturais e da valorização da biodiversidade. Essa integração amplia a capacidade de produzir alimentos de elevada qualidade nutricional e reforça a contribuição desse modelo agrícola para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.7.5. Sistemas Alimentares Sustentáveis

Os sistemas alimentares sustentáveis constituem um componente essencial do desenvolvimento sustentável. Esses sistemas envolvem todas as etapas relacionadas à produção, processamento, distribuição, comercialização e consumo dos alimentos. O funcionamento desses sistemas deve garantir alimentos suficientes, seguros e nutritivos. Esse processo também deve preservar os recursos naturais e promover benefícios sociais e econômicos (Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022; Opatski, 2025).

A agricultura regenerativa fortalece a construção de sistemas alimentares sustentáveis. Essa abordagem recupera a qualidade do solo, conserva os recursos hídricos e amplia a biodiversidade. Essas práticas mantêm os processos ecológicos responsáveis pela produção agrícola. Esses mecanismos aumentam a capacidade dos agroecossistemas de fornecer alimentos de forma contínua e ambientalmente responsável (Rhodes, 2017; Rosier *et al.*, 2025; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A conservação dos recursos naturais representa um dos principais fundamentos desses sistemas. Solos saudáveis favorecem a produtividade agrícola e reduzem perdas de nutrientes. A disponibilidade de água sustenta o desenvolvimento das culturas e aumenta a estabilidade produtiva. A biodiversidade fortalece a polinização, o controle biológico e a ciclagem de nutrientes. Esses serviços ecossistêmicos garantem maior eficiência aos sistemas alimentares (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Dittmer *et al.*, 2023).

A diversificação produtiva amplia a sustentabilidade dos sistemas alimentares. A produção de diferentes espécies reduz riscos associados às monoculturas e aumenta a oferta de alimentos. Essa estratégia fortalece a segurança alimentar e melhora a estabilidade

econômica das propriedades rurais. A diversificação também amplia a disponibilidade de alimentos com diferentes características nutricionais para a população (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

Os sistemas alimentares sustentáveis também dependem da resiliência climática. Eventos climáticos extremos podem comprometer a produção agrícola e reduzir a disponibilidade de alimentos. Agroecossistemas regenerativos apresentam maior capacidade de adaptação devido à conservação do solo, da água e da cobertura vegetal. Essa característica reduz perdas produtivas e favorece a continuidade do abastecimento alimentar (Hamidov *et al.*, 2018; Seppelt *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024).

A sustentabilidade econômica fortalece esses sistemas. A redução da dependência de insumos externos diminui os custos de produção. A melhoria da fertilidade do solo aumenta a eficiência produtiva. A estabilidade econômica favorece investimentos em práticas conservacionistas e amplia a permanência das famílias na atividade agrícola. Esses fatores fortalecem toda a cadeia de produção de alimentos (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A dimensão social também integra os sistemas alimentares sustentáveis. A valorização do conhecimento dos agricultores fortalece a adoção de práticas regenerativas. A participação das comunidades rurais amplia a inovação e favorece a adaptação das tecnologias às condições locais. Esse processo fortalece o desenvolvimento rural e amplia a segurança alimentar das populações (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

Os sistemas alimentares sustentáveis dependem da integração entre conservação ambiental, viabilidade econômica e inclusão social. A agricultura regenerativa fortalece essa integração por meio da recuperação dos recursos naturais, da promoção da biodiversidade e da adoção de práticas produtivas resilientes. Essa abordagem amplia a capacidade de produzir alimentos de forma contínua, reduz impactos ambientais e contribui para a construção de sistemas alimentares mais sustentáveis, resilientes e compatíveis com os desafios do século XXI (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.7.6. Resiliência dos Sistemas Produtivos

A resiliência dos sistemas produtivos representa a capacidade dos agroecossistemas de resistir, adaptar-se e recuperar-se diante de perturbações ambientais, econômicas e sociais. Esse conceito tornou-se essencial diante da intensificação das mudanças climáticas e da crescente degradação dos recursos naturais. Sistemas resilientes mantêm sua funcionalidade mesmo sob condições adversas. Essa característica fortalece a segurança alimentar e a sustentabilidade da produção agrícola (Seppelt *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

A agricultura regenerativa aumenta a resiliência dos sistemas produtivos por meio da recuperação dos processos ecológicos. O manejo regenerativo melhora a qualidade do solo e amplia a conservação dos recursos hídricos. A biodiversidade funcional fortalece o equilíbrio biológico dos agroecossistemas. Esses mecanismos reduzem a vulnerabilidade das áreas agrícolas frente aos eventos climáticos extremos (Rhodes, 2017; Rosier *et al.*, 2025; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A saúde do solo exerce papel central na resiliência agrícola. Solos ricos em matéria orgânica apresentam maior capacidade de retenção de água e melhor estrutura física. Essas características reduzem os impactos provocados por secas prolongadas e chuvas intensas. A melhoria da fertilidade também favorece o desenvolvimento contínuo das culturas agrícolas em diferentes condições ambientais (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

A conservação dos recursos hídricos amplia a capacidade adaptativa dos sistemas agrícolas. A infiltração eficiente aumenta a disponibilidade de água durante períodos de baixa precipitação. A cobertura permanente do solo reduz perdas por evaporação e protege contra processos erosivos. Esses fatores favorecem maior estabilidade da produção e reduzem riscos associados à variabilidade climática (Hamidov *et al.*, 2018; Nthebere *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

A diversificação produtiva também fortalece a resiliência dos agroecossistemas. Sistemas com diferentes culturas distribuem melhor os riscos relacionados a pragas, doenças e eventos climáticos extremos. A presença de múltiplas espécies reduz a dependência de uma única cultura e aumenta a estabilidade da produção agrícola. Essa estratégia amplia a capacidade de recuperação após períodos de adversidade (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

A biodiversidade funcional representa outro componente importante da resiliência. Microrganismos, polinizadores e inimigos naturais mantêm processos ecológicos essenciais para o funcionamento dos agroecossistemas. Esses organismos favorecem

a ciclagem de nutrientes, o controle biológico e a polinização. Essas funções aumentam a estabilidade ecológica e reduzem a necessidade de intervenções externas (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A resiliência também produz benefícios econômicos e sociais. Sistemas agrícolas mais estáveis apresentam menor risco de perdas produtivas e maior segurança financeira para os produtores. Essa condição favorece a permanência das famílias no meio rural e amplia a capacidade de investimento em práticas sustentáveis. Esses benefícios fortalecem o desenvolvimento rural sustentável e a segurança alimentar (Brumer *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024).

A resiliência dos sistemas produtivos depende da integração entre conservação ambiental, diversificação produtiva e manejo regenerativo. A recuperação do solo, a proteção dos recursos hídricos, o fortalecimento da biodiversidade e a adoção de práticas agroecológicas aumentam simultaneamente a estabilidade ecológica, econômica e social dos agroecossistemas. Essa integração consolida a agricultura regenerativa como uma estratégia capaz de enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e de garantir sistemas agrícolas mais sustentáveis, resilientes e produtivos em longo prazo (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.8. Fatores Associados à Adoção das Práticas Agroecológicas

A adoção das práticas agroecológicas depende de diversos fatores ambientais, econômicos, sociais e institucionais. Esses fatores influenciam as decisões dos produtores rurais e determinam a

velocidade de expansão da agricultura regenerativa. A implementação dessas práticas exige mudanças no manejo agrícola e na organização dos sistemas produtivos. Esse processo depende da interação entre conhecimento, recursos disponíveis e condições locais (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Opatski, 2025).

O conhecimento técnico representa um dos principais fatores para a adoção das práticas agroecológicas. Agricultores que recebem assistência técnica apresentam maior capacidade para implementar sistemas regenerativos. A capacitação favorece a compreensão dos processos ecológicos e reduz incertezas relacionadas às mudanças no manejo agrícola. Esse suporte aumenta a confiança na adoção de novas tecnologias sustentáveis (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

Os fatores econômicos também exercem forte influência sobre esse processo. A implantação de práticas regenerativas pode exigir investimentos iniciais em capacitação, planejamento e reorganização da propriedade. Muitos benefícios econômicos surgem apenas no médio e longo prazo. Essa característica pode dificultar a adoção por produtores com limitações financeiras. A disponibilidade de incentivos econômicos favorece a transição para sistemas regenerativos (Mulungu *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023).

As condições ambientais da propriedade também influenciam a adoção dessas práticas. A qualidade do solo, a disponibilidade de água e o grau de degradação ambiental determinam as estratégias de manejo mais adequadas. Sistemas degradados geralmente exigem maior investimento em recuperação ambiental. Essas condições tornam necessário o planejamento específico para cada

realidade produtiva (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

A participação social fortalece a adoção das práticas agroecológicas. A troca de experiências entre agricultores amplia o compartilhamento de conhecimentos e favorece processos de aprendizagem coletiva. Redes de cooperação facilitam a disseminação de inovações e fortalecem a confiança entre os produtores. Esse ambiente colaborativo estimula a expansão da agricultura regenerativa (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

As políticas públicas também influenciam a adoção dos sistemas regenerativos. Programas de assistência técnica, crédito rural e incentivos à conservação ambiental reduzem barreiras para a implementação dessas práticas. O apoio institucional fortalece a capacidade de investimento das propriedades rurais e amplia a adoção de tecnologias sustentáveis. Essas ações contribuem para o desenvolvimento rural sustentável (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

As mudanças climáticas aumentam o interesse por práticas agroecológicas. Eventos climáticos extremos elevam a necessidade de sistemas agrícolas mais resilientes. Muitos produtores adotam práticas regenerativas para reduzir perdas produtivas e aumentar a estabilidade da produção. Essa motivação amplia a difusão de tecnologias voltadas à conservação do solo, da água e da biodiversidade (Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022; Rosier *et al.*, 2025).

A adoção das práticas agroecológicas depende da atuação conjunta de fatores técnicos, econômicos, sociais e institucionais. A integração entre assistência técnica, políticas públicas, participação comunitária, incentivos econômicos e produção de conhecimento científico favorece a expansão da agricultura regenerativa. Essa combinação amplia a sustentabilidade dos sistemas produtivos e fortalece sua contribuição para a conservação ambiental, a segurança alimentar e o desenvolvimento rural sustentável (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.8.1. Aspectos Ambientais

Os aspectos ambientais exercem influência direta sobre a adoção das práticas agroecológicas. As condições naturais das propriedades determinam o potencial de implementação das estratégias regenerativas. A qualidade do solo, a disponibilidade de água, a biodiversidade e o estado de conservação dos ecossistemas condicionam o planejamento do manejo agrícola. Esses fatores orientam a escolha das práticas mais adequadas para cada realidade produtiva (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

A qualidade do solo representa um dos principais fatores ambientais relacionados à adoção dessas práticas. Solos degradados apresentam baixa fertilidade, menor capacidade de retenção de água e reduzida atividade biológica. Essas limitações comprometem a produtividade agrícola e aumentam a necessidade de estratégias de recuperação ambiental. A agricultura regenerativa busca restaurar essas funções por meio do aumento da matéria orgânica e da conservação da estrutura do solo (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

A disponibilidade de água também influencia a adoção do manejo regenerativo. Regiões sujeitas à escassez hídrica exigem práticas capazes de aumentar a infiltração e reduzir perdas por evaporação. A cobertura permanente do solo e o plantio direto favorecem esses processos. Essas estratégias aumentam a eficiência do uso da água e fortalecem a estabilidade da produção agrícola (Hamidov *et al.*, 2018; Nthebere *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

A biodiversidade constitui outro componente importante dos aspectos ambientais. Ambientes com maior diversidade biológica apresentam processos ecológicos mais estáveis. Microrganismos, polinizadores e inimigos naturais contribuem para a ciclagem de nutrientes, a polinização e o controle biológico de pragas. Esses serviços ecossistêmicos reduzem a dependência de insumos externos e favorecem a adoção de sistemas agroecológicos (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

O grau de degradação ambiental também interfere na adoção das práticas regenerativas. Áreas submetidas à erosão, compactação ou perda de matéria orgânica demandam intervenções mais intensivas para recuperar sua funcionalidade. Essas condições exigem planejamento técnico e acompanhamento contínuo durante a transição para sistemas regenerativos. Esse processo fortalece a recuperação dos serviços ecossistêmicos ao longo do tempo (Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Hao *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

As mudanças climáticas aumentam a importância dos fatores ambientais na tomada de decisão dos agricultores. Secas prolongadas, chuvas intensas e elevação das temperaturas reduzem a estabilidade dos sistemas convencionais. A necessidade de

aumentar a resiliência estimula a adoção de práticas voltadas à conservação do solo, da água e da cobertura vegetal. Essas práticas reduzem os impactos ambientais e fortalecem a adaptação dos agroecossistemas (Seppelt *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Os aspectos ambientais também apresentam relação direta com a produtividade agrícola. A melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo aumenta a eficiência produtiva e reduz perdas decorrentes da degradação dos recursos naturais. A recuperação dos processos ecológicos favorece maior estabilidade da produção e amplia a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

Os aspectos ambientais constituem um dos principais fatores associados à adoção das práticas agroecológicas. A conservação do solo, da água e da biodiversidade cria condições favoráveis para a implementação da agricultura regenerativa. Esses componentes fortalecem os serviços ecossistêmicos, aumentam a resiliência dos agroecossistemas e ampliam a sustentabilidade ambiental da produção agrícola em longo prazo (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.8.2. Aspectos Econômicos

Os aspectos econômicos influenciam diretamente a adoção das práticas agroecológicas. A decisão de implementar sistemas regenerativos depende da capacidade financeira dos produtores e da percepção sobre os custos e benefícios da transição. Muitos agricultores avaliam o retorno econômico antes de modificar o sistema de produção. Esse comportamento influencia a velocidade

de adoção das práticas regenerativas (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

A implantação da agricultura regenerativa pode exigir investimentos iniciais. O produtor precisa reorganizar o manejo da propriedade e, em alguns casos, adquirir novos equipamentos ou insumos biológicos. Também pode ser necessário investir em capacitação técnica e planejamento produtivo. Esses custos representam uma barreira para produtores com menor disponibilidade de recursos financeiros (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

Os benefícios econômicos tendem a ocorrer de forma gradual. A recuperação da fertilidade do solo reduz a necessidade de fertilizantes sintéticos ao longo do tempo. O manejo ecológico diminui a dependência de defensivos químicos. A melhoria da eficiência no uso dos recursos naturais reduz os custos de produção. Esses fatores fortalecem a rentabilidade dos sistemas regenerativos no médio e longo prazo (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A diversificação produtiva também contribui para a sustentabilidade econômica das propriedades rurais. A produção de diferentes culturas amplia as fontes de renda e reduz a dependência de um único produto agrícola. Essa estratégia diminui riscos associados às oscilações de preços e às perdas decorrentes de eventos climáticos extremos. Essa condição aumenta a estabilidade financeira dos produtores (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

A melhoria da qualidade do solo gera benefícios econômicos adicionais. Solos saudáveis apresentam maior produtividade e melhor aproveitamento da água e dos nutrientes. Essas condições reduzem perdas produtivas e aumentam a eficiência dos sistemas agrícolas. Esse desempenho favorece maior retorno econômico para as propriedades rurais (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024).

Os incentivos institucionais também influenciam a adoção das práticas agroecológicas. Programas de crédito rural, assistência técnica e políticas públicas voltadas à conservação ambiental reduzem parte dos custos de transição. Esses mecanismos aumentam a capacidade de investimento dos agricultores e favorecem a expansão da agricultura regenerativa. O apoio institucional reduz incertezas econômicas durante a implementação das novas práticas (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Ramirez-Santos *et al.*, 2023).

A resiliência econômica constitui outro benefício relevante. Sistemas regenerativos apresentam maior estabilidade produtiva diante das mudanças climáticas. A redução das perdas agrícolas aumenta a previsibilidade da produção e da renda. Essa característica fortalece a segurança financeira das propriedades e reduz sua vulnerabilidade frente às oscilações ambientais e de mercado (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Seppelt *et al.*, 2022).

Os aspectos econômicos representam um dos principais fatores associados à adoção das práticas agroecológicas. A redução gradual dos custos de produção, o aumento da eficiência no uso dos recursos naturais, a diversificação das fontes de renda e o apoio institucional favorecem a expansão da agricultura regenerativa.

Esses fatores fortalecem a sustentabilidade econômica das propriedades rurais e ampliam a viabilidade desse modelo produtivo em longo prazo (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.8.3. Aspectos Sociais

Os aspectos sociais exercem papel fundamental na adoção das práticas agroecológicas. A implementação da agricultura regenerativa depende da participação ativa dos agricultores, das comunidades rurais e das instituições de apoio. Esse processo envolve mudanças culturais, organizacionais e técnicas. Essas transformações influenciam diretamente a consolidação dos sistemas regenerativos (Brumer *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

O conhecimento dos agricultores representa um dos principais fatores sociais relacionados à adoção dessas práticas. A experiência acumulada pelas comunidades rurais contribui para a adaptação das tecnologias às condições locais. O conhecimento tradicional complementa as evidências científicas e fortalece o planejamento do manejo agrícola. Essa integração favorece sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

A capacitação técnica também influencia a adoção das práticas agroecológicas. Programas de treinamento ampliam o conhecimento sobre manejo do solo, conservação da água, biodiversidade e práticas regenerativas. A assistência técnica reduz dúvidas durante a transição dos sistemas convencionais para modelos regenerativos. Esse apoio aumenta a confiança dos

produtores e facilita a implementação das novas estratégias de manejo (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

A cooperação entre agricultores fortalece a disseminação da agricultura regenerativa. A troca de experiências permite compartilhar soluções para problemas comuns e facilita a adoção de inovações. Redes de colaboração promovem aprendizado coletivo e reduzem incertezas relacionadas às mudanças no sistema produtivo. Essa interação favorece a expansão das práticas agroecológicas em diferentes regiões (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024).

A organização social das comunidades rurais também favorece esse processo. Associações, cooperativas e organizações comunitárias ampliam o acesso à informação, aos mercados e aos programas de apoio técnico. Essas instituições fortalecem a capacidade de negociação dos produtores e incentivam a adoção de práticas sustentáveis. Esse ambiente institucional favorece o desenvolvimento rural sustentável (Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

A qualidade de vida das populações rurais apresenta relação direta com a agricultura regenerativa. A redução da degradação ambiental melhora as condições de trabalho e preserva os recursos naturais utilizados pelas comunidades. A diversificação produtiva amplia oportunidades de geração de renda e reduz vulnerabilidades econômicas. Esses benefícios fortalecem a permanência das famílias no meio rural e contribuem para a inclusão social (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025).

As mudanças climáticas também ampliam a importância dos fatores sociais. Comunidades organizadas apresentam maior capacidade de adaptação diante de eventos climáticos extremos. A cooperação entre produtores facilita a adoção de estratégias de conservação do solo, da água e da biodiversidade. Essa articulação fortalece a resiliência dos agroecossistemas e reduz riscos para a produção agrícola (Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022; Storkey *et al.*, 2024).

Os aspectos sociais representam um dos principais determinantes da adoção das práticas agroecológicas. A integração entre conhecimento científico, saberes locais, capacitação técnica, organização comunitária e participação social favorece a consolidação da agricultura regenerativa. Esses fatores fortalecem a sustentabilidade dos sistemas produtivos e ampliam sua contribuição para a conservação ambiental, a segurança alimentar e o desenvolvimento rural sustentável (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.8.4. Aspectos Tecnológicos

Os aspectos tecnológicos exercem papel decisivo na adoção das práticas agroecológicas. A implementação da agricultura regenerativa depende da disponibilidade de técnicas compatíveis com os princípios ecológicos e com as condições locais de produção. A utilização adequada dessas tecnologias aumenta a eficiência do manejo agrícola. Esse processo favorece a sustentabilidade dos agroecossistemas (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Opatski, 2025).

A assistência técnica representa um dos principais componentes tecnológicos desse processo. Profissionais capacitados orientam os produtores durante a transição para sistemas regenerativos. Esse acompanhamento reduz erros de manejo e facilita a adaptação das práticas às características de cada propriedade. Esse suporte aumenta a segurança técnica dos agricultores e favorece a adoção das inovações (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

As tecnologias de manejo do solo constituem importantes ferramentas para a agricultura regenerativa. O plantio direto, a cobertura permanente do solo, a rotação de culturas e a adubação verde melhoram a fertilidade e reduzem processos erosivos. Essas práticas fortalecem a estrutura física, química e biológica do solo. Esses benefícios aumentam a estabilidade da produção agrícola (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

As tecnologias biológicas também favorecem a adoção das práticas agroecológicas. A utilização de compostagem, bioinsumos e estratégias de manejo ecológico de pragas reduz a dependência de fertilizantes sintéticos e defensivos químicos. Esses recursos fortalecem os processos ecológicos naturais e aumentam a eficiência dos serviços ecossistêmicos. Essa abordagem melhora a sustentabilidade ambiental da produção (Dittmer *et al.*, 2023; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rosier *et al.*, 2025).

Os sistemas integrados representam outro avanço tecnológico relevante. Sistemas agroflorestais e integração lavoura-pecuária-floresta aumentam a eficiência do uso dos recursos naturais e diversificam a produção agrícola. Esses modelos favorecem a conservação do solo, da água e da biodiversidade. Essa integração

amplia a resiliência dos agroecossistemas diante das mudanças climáticas (Paul *et al.*, 2020; Van Selm *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024).

O monitoramento das condições ambientais também contribui para a tomada de decisão. A avaliação contínua da qualidade do solo, da disponibilidade hídrica e do desempenho das culturas permite ajustar o manejo de forma mais eficiente. Essas informações aumentam a capacidade de planejamento dos produtores e reduzem riscos produtivos. Esse acompanhamento fortalece a estabilidade dos sistemas regenerativos (Krause *et al.*, 2024; Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025).

A inovação tecnológica depende da integração entre pesquisa científica e conhecimento prático. Instituições de pesquisa desenvolvem novas soluções para os sistemas regenerativos. Agricultores adaptam essas tecnologias às condições locais de produção. Essa interação favorece o aperfeiçoamento contínuo das práticas agroecológicas e amplia sua eficiência técnica (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

Os aspectos tecnológicos representam um fator essencial para a expansão da agricultura regenerativa. A assistência técnica, o desenvolvimento de tecnologias conservacionistas, o uso de bioinsumos, os sistemas integrados e a produção de conhecimento científico fortalecem a adoção das práticas agroecológicas. Essa integração aumenta a eficiência produtiva, amplia a resiliência dos agroecossistemas e contribui para a sustentabilidade ambiental, econômica e social da agricultura (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.8.5. Aspectos Institucionais

Os aspectos institucionais exercem papel decisivo na adoção das práticas agroecológicas. Instituições públicas, organizações de pesquisa, serviços de extensão rural e entidades da sociedade civil influenciam a disseminação da agricultura regenerativa. Essas instituições oferecem suporte técnico, científico e organizacional aos produtores. Esse apoio reduz barreiras para a implementação de sistemas produtivos sustentáveis (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Opatski, 2025).

As políticas públicas constituem um dos principais instrumentos institucionais. Programas governamentais podem incentivar a conservação dos recursos naturais e a adoção de tecnologias sustentáveis. Linhas de crédito, incentivos fiscais e programas de financiamento reduzem os custos da transição para sistemas regenerativos. Essas medidas aumentam a capacidade de investimento dos agricultores e favorecem a expansão dessas práticas (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023).

A assistência técnica e a extensão rural fortalecem esse processo de transição. Técnicos especializados orientam os produtores sobre práticas conservacionistas, manejo do solo, conservação da água e diversificação produtiva. Esse acompanhamento reduz incertezas e melhora a eficiência da implantação das tecnologias regenerativas. Essa atuação amplia a confiança dos agricultores e facilita a adoção das práticas agroecológicas (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

As instituições de pesquisa também apresentam importância estratégica. Universidades e centros de pesquisa desenvolvem conhecimentos científicos sobre manejo regenerativo, recuperação ambiental e sustentabilidade agrícola. Esses resultados orientam a formulação de tecnologias adaptadas às diferentes condições edafoclimáticas. Essa produção científica fortalece a inovação e amplia a eficiência dos sistemas regenerativos (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

As organizações coletivas favorecem a disseminação das práticas agroecológicas. Cooperativas, associações e redes de produtores promovem o intercâmbio de experiências e facilitam o acesso a mercados, insumos e assistência técnica. Essas organizações fortalecem a cooperação entre agricultores e ampliam a capacidade de implementação de sistemas sustentáveis. Esse ambiente colaborativo acelera a difusão das inovações regenerativas (Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023).

A articulação entre diferentes instituições amplia os resultados das políticas de desenvolvimento rural. A integração entre órgãos governamentais, instituições de pesquisa, serviços de extensão e organizações de produtores favorece ações coordenadas para conservação ambiental e fortalecimento da agricultura regenerativa. Essa cooperação aumenta a eficiência das estratégias de apoio ao setor agrícola (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024).

Os aspectos institucionais também influenciam a adaptação às mudanças climáticas. Programas voltados para manejo sustentável, recuperação de áreas degradadas e conservação dos recursos naturais fortalecem a resiliência dos agroecossistemas. Essas

iniciativas reduzem riscos produtivos e ampliam a capacidade de resposta dos agricultores frente às alterações ambientais (Seppelt *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Os aspectos institucionais representam um dos principais fatores associados à adoção das práticas agroecológicas. A existência de políticas públicas consistentes, assistência técnica qualificada, pesquisa científica, extensão rural e organizações coletivas favorece a expansão da agricultura regenerativa. Essa integração fortalece a sustentabilidade ambiental, econômica e social dos sistemas produtivos e amplia sua contribuição para o desenvolvimento rural sustentável (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.8.6. Políticas Públicas

As políticas públicas desempenham papel estratégico na expansão da agricultura regenerativa. Essas políticas criam condições para que produtores rurais adotem práticas agroecológicas de forma mais segura e eficiente. O apoio governamental reduz barreiras técnicas, econômicas e institucionais. Essa atuação fortalece a transição para sistemas produtivos mais sustentáveis (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

Os programas de incentivo financeiro representam um dos principais instrumentos das políticas públicas. Linhas de crédito, financiamentos e incentivos econômicos facilitam investimentos em práticas regenerativas. Esses recursos permitem a aquisição de equipamentos, insumos biológicos e tecnologias conservacionistas. Esse suporte reduz os custos iniciais da transição agroecológica (Wardle *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Mulungu *et al.*, 2024).

A assistência técnica constitui outro componente fundamental das políticas públicas. Os serviços de extensão rural orientam os agricultores sobre manejo do solo, conservação da água, diversificação produtiva e recuperação ambiental. Esse acompanhamento melhora a eficiência da implementação das práticas agroecológicas. Essa orientação reduz incertezas e aumenta a confiança dos produtores durante o processo de transição (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

As políticas voltadas à pesquisa científica também fortalecem a agricultura regenerativa. Instituições públicas de pesquisa desenvolvem tecnologias adaptadas às diferentes condições ambientais e produtivas. Esses estudos ampliam o conhecimento sobre conservação dos recursos naturais, manejo regenerativo e sustentabilidade agrícola. Essa produção científica subsidia a formulação de novas estratégias para o setor rural (Brumer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

As políticas ambientais incentivam a conservação dos recursos naturais. Programas voltados à recuperação de áreas degradadas, proteção da biodiversidade e conservação do solo favorecem a adoção de práticas regenerativas. Essas ações ampliam os serviços ecossistêmicos e reduzem impactos ambientais provocados pelos sistemas convencionais de produção. Esses benefícios fortalecem a sustentabilidade dos agroecossistemas (Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A integração entre diferentes instituições amplia a efetividade das políticas públicas. Órgãos governamentais, universidades, instituições de pesquisa, cooperativas e organizações da sociedade civil podem atuar de forma complementar. Essa articulação

fortalece a transferência de conhecimento e amplia o acesso dos agricultores às tecnologias regenerativas. Esse processo favorece o desenvolvimento rural sustentável (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

As políticas públicas também fortalecem a adaptação às mudanças climáticas. Programas voltados ao manejo sustentável incentivam práticas que aumentam a resiliência dos sistemas agrícolas. A conservação do solo, da água e da biodiversidade reduz a vulnerabilidade dos agroecossistemas aos eventos climáticos extremos. Essa estratégia contribui para a segurança alimentar e para a estabilidade da produção agrícola (Seppelt *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Políticas públicas consistentes representam um dos principais fatores para a consolidação da agricultura regenerativa. A integração entre incentivos financeiros, assistência técnica, pesquisa científica, conservação ambiental e desenvolvimento rural cria condições favoráveis para a adoção das práticas agroecológicas. Essa atuação fortalece simultaneamente a sustentabilidade ambiental, econômica e social dos sistemas produtivos e amplia a contribuição da agricultura regenerativa para o desenvolvimento sustentável (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.8.7. Assistência Técnica e Extensão Rural

A assistência técnica e a extensão rural representam fatores essenciais para a adoção das práticas agroecológicas. Esses serviços promovem a transferência de conhecimentos científicos para os produtores rurais. Esse processo facilita a implementação de sistemas regenerativos e reduz dificuldades durante a transição dos

modelos convencionais de produção. Essa atuação fortalece a sustentabilidade dos agroecossistemas (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Opatski, 2025).

A assistência técnica amplia a capacidade dos agricultores de aplicar práticas conservacionistas. Técnicos orientam o manejo do solo, da água e da biodiversidade. Esses profissionais também acompanham a implantação de tecnologias regenerativas e auxiliam na solução de problemas produtivos. Esse suporte aumenta a eficiência do manejo agrícola e reduz riscos associados à adoção de novas práticas (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

A extensão rural fortalece os processos de aprendizagem coletiva. Agricultores compartilham experiências durante cursos, capacitações e atividades de campo. Essa troca de conhecimentos favorece a adaptação das tecnologias às condições locais de produção. Esse ambiente colaborativo estimula a inovação e amplia a confiança na agricultura regenerativa (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

A qualificação técnica contribui para o uso eficiente dos recursos naturais. Os programas de capacitação orientam os produtores sobre plantio direto, rotação de culturas, cobertura permanente do solo, adubação verde e manejo ecológico de pragas. Essas práticas aumentam a fertilidade do solo, conservam os recursos hídricos e fortalecem a biodiversidade funcional. Esses benefícios ampliam a sustentabilidade ambiental da produção agrícola (Jat *et al.*, 2019; Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025).

A assistência técnica também favorece a sustentabilidade econômica das propriedades rurais. O planejamento adequado

reduz desperdícios e melhora a eficiência do uso dos insumos. A adoção de práticas regenerativas diminui gradualmente a dependência de fertilizantes sintéticos e defensivos químicos. Essa redução de custos fortalece a rentabilidade e aumenta a estabilidade financeira dos sistemas produtivos (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Wardle *et al.*, 2024).

A extensão rural fortalece a organização das comunidades agrícolas. A atuação conjunta entre agricultores, cooperativas, instituições de pesquisa e órgãos públicos amplia o acesso às informações técnicas e aos programas de incentivo. Essa articulação facilita a disseminação das inovações e fortalece o desenvolvimento rural sustentável. Esse processo aumenta a capacidade das comunidades de enfrentar desafios ambientais e econômicos (Brumer *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024).

A assistência técnica também contribui para a adaptação às mudanças climáticas. Os técnicos orientam práticas voltadas à conservação do solo, da água e da cobertura vegetal. Essas estratégias aumentam a resiliência dos agroecossistemas e reduzem perdas provocadas por eventos climáticos extremos. Esse suporte fortalece a segurança alimentar e a estabilidade da produção agrícola (Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022; Rosier *et al.*, 2025).

A assistência técnica e a extensão rural constituem elementos indispensáveis para a consolidação da agricultura regenerativa. A integração entre capacitação, pesquisa científica, acompanhamento técnico e participação comunitária amplia a adoção das práticas agroecológicas. Essa combinação fortalece a sustentabilidade ambiental, econômica e social dos sistemas produtivos e contribui

para o desenvolvimento rural sustentável em longo prazo (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.9. Evidências Científicas Sobre os Impactos da Agricultura Regenerativa

As evidências científicas demonstram que a agricultura regenerativa produz impactos positivos sobre os componentes ambientais, econômicos e sociais dos sistemas agrícolas. Os estudos incluídos nesta revisão relatam benefícios relacionados à conservação do solo, ao aumento da biodiversidade, à melhoria da qualidade da água e ao fortalecimento da resiliência dos agroecossistemas. Esses resultados reforçam o potencial da agricultura regenerativa como estratégia para promover sustentabilidade em longo prazo (Rhodes, 2017; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A recuperação da qualidade do solo representa um dos resultados mais consistentes observados na literatura. As práticas regenerativas aumentam os teores de matéria orgânica e melhoram a estrutura física do solo. Esses processos favorecem a infiltração de água, ampliam a disponibilidade de nutrientes e estimulam a atividade biológica. Esses benefícios aumentam a fertilidade e fortalecem a capacidade produtiva dos agroecossistemas (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

As pesquisas também demonstram benefícios relacionados à conservação dos recursos hídricos. A cobertura permanente do solo reduz o escoamento superficial e diminui os processos erosivos. O aumento da infiltração favorece a recarga hídrica e melhora a disponibilidade de água para as culturas. Esses mecanismos reduzem impactos ambientais e aumentam a estabilidade da

produção agrícola (Hamidov *et al.*, 2018; Nthebere *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

A biodiversidade constitui outro componente frequentemente beneficiado pela agricultura regenerativa. Os estudos relatam aumento da diversidade de plantas, microrganismos, polinizadores e inimigos naturais. Esses organismos fortalecem a ciclagem de nutrientes, a polinização e o controle biológico de pragas. Essas interações aumentam a funcionalidade dos agroecossistemas e reduzem a dependência de insumos químicos (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Os estudos também apontam efeitos positivos sobre a mitigação das mudanças climáticas. As práticas regenerativas aumentam o sequestro de carbono no solo e favorecem a conservação da matéria orgânica. Esses mecanismos reduzem emissões de gases de efeito estufa e fortalecem a adaptação dos sistemas agrícolas às alterações climáticas. Esses resultados ampliam a contribuição da agricultura regenerativa para a sustentabilidade ambiental (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

As evidências científicas também destacam benefícios econômicos. A melhoria da qualidade do solo reduz a necessidade de fertilizantes sintéticos e outros insumos externos. A diversificação produtiva aumenta a estabilidade da renda e reduz riscos econômicos associados às oscilações climáticas e de mercado. Esses fatores fortalecem a viabilidade financeira das propriedades rurais (Mulunggu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

Os impactos sociais também são relatados na literatura. A agricultura regenerativa fortalece a participação das comunidades

rurais e valoriza o conhecimento dos agricultores. A assistência técnica, a cooperação entre produtores e a integração entre pesquisa e extensão favorecem a adoção das práticas agroecológicas. Esses processos contribuem para o desenvolvimento rural sustentável e para o fortalecimento da segurança alimentar (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

Os estudos revisados também demonstram que os melhores resultados ocorrem quando diferentes práticas regenerativas são adotadas de forma integrada. A combinação entre plantio direto, rotação de culturas, cobertura permanente do solo, sistemas agroflorestais, integração lavoura-pecuária-floresta e manejo ecológico de pragas potencializa os benefícios ambientais, econômicos e sociais. Essa integração fortalece simultaneamente a resiliência, a produtividade e a sustentabilidade dos agroecossistemas (Jat *et al.*, 2019; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

De forma geral, as evidências científicas reunidas nesta revisão indicam que a agricultura regenerativa apresenta elevado potencial para enfrentar os desafios atuais da produção agrícola. Os estudos demonstram melhorias consistentes na conservação dos recursos naturais, na estabilidade produtiva, na adaptação às mudanças climáticas e na sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Esses resultados reforçam a importância da ampliação das pesquisas e da adoção dessas práticas como estratégia para promover segurança alimentar, desenvolvimento rural sustentável e conservação ambiental (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.9.1. Impactos Ambientais

Os impactos ambientais constituem os efeitos mais frequentemente relatados nos estudos sobre agricultura regenerativa. As pesquisas demonstram melhorias consistentes na qualidade do solo, na conservação da água, na biodiversidade e na mitigação das mudanças climáticas. Esses resultados evidenciam a capacidade desse modelo agrícola de recuperar funções ecológicas degradadas e fortalecer a sustentabilidade dos agroecossistemas (Rhodes, 2017; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A recuperação da saúde do solo representa um dos principais impactos observados. As práticas regenerativas aumentam os teores de matéria orgânica e estimulam a atividade biológica do solo. Esses processos melhoram a estrutura física e favorecem a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Essas alterações ampliam a fertilidade natural e reduzem processos de degradação ambiental (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

A conservação dos recursos hídricos também apresenta destaque na literatura. A cobertura permanente do solo reduz o escoamento superficial e protege contra a erosão. O aumento da infiltração favorece a recarga hídrica e amplia a disponibilidade de água para as culturas. Esses mecanismos preservam a qualidade dos corpos hídricos e fortalecem a estabilidade ambiental dos sistemas agrícolas (Hamidov *et al.*, 2018; Nthebere *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

A biodiversidade aumenta significativamente em sistemas regenerativos. Os estudos relatam maior diversidade de plantas, microrganismos, polinizadores e inimigos naturais. Esses organismos fortalecem a ciclagem de nutrientes, a polinização e o controle biológico de pragas. Essas interações ampliam os serviços

ecossistêmicos e reduzem a necessidade de intervenções químicas no ambiente (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A agricultura regenerativa também contribui para a mitigação das mudanças climáticas. As práticas conservacionistas aumentam o sequestro de carbono no solo e favorecem a manutenção da matéria orgânica. Sistemas agroflorestais e cobertura vegetal permanente ampliam o armazenamento de carbono na biomassa. Esses mecanismos reduzem emissões de gases de efeito estufa e fortalecem o equilíbrio climático (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçı; Çakmakçı; Çakmakçı, 2025).

A redução da degradação ambiental representa outro impacto importante. A adoção do plantio direto, da rotação de culturas e da cobertura permanente reduz perdas de solo e nutrientes. Essas práticas diminuem processos erosivos e favorecem a recuperação de áreas degradadas. Esse conjunto de benefícios aumenta a capacidade produtiva dos agroecossistemas e preserva os recursos naturais (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

Os estudos também demonstram aumento da resiliência ambiental dos sistemas agrícolas. Agroecossistemas regenerativos apresentam maior capacidade de enfrentar secas prolongadas, chuvas intensas e oscilações climáticas. A melhoria da qualidade do solo e da cobertura vegetal reduz impactos desses eventos extremos. Essa característica fortalece a estabilidade ecológica e produtiva das propriedades rurais (Seppelt *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Os impactos ambientais da agricultura regenerativa resultam da integração entre diferentes práticas conservacionistas. A recuperação do solo, a proteção dos recursos hídricos, o fortalecimento da biodiversidade e o aumento do sequestro de carbono atuam de forma complementar. Essa integração amplia os serviços ecossistêmicos, reduz a degradação ambiental e consolida a agricultura regenerativa como uma estratégia eficiente para promover sustentabilidade ambiental e adaptação às mudanças climáticas (Storkey *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.9.2. Impactos Econômicos

Os impactos econômicos da agricultura regenerativa são amplamente discutidos na literatura científica. Os estudos indicam que esse modelo de produção pode aumentar a eficiência do uso dos recursos naturais e reduzir custos operacionais ao longo do tempo. Esses benefícios dependem da adoção integrada das práticas regenerativas e do período de adaptação dos sistemas produtivos. Essa combinação favorece a sustentabilidade econômica das propriedades rurais (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

A redução dos custos de produção representa um dos principais impactos econômicos observados. A melhoria da fertilidade do solo diminui a necessidade de fertilizantes sintéticos. O manejo ecológico de pragas reduz o uso de defensivos químicos. A conservação dos recursos naturais também reduz perdas produtivas. Esses fatores aumentam a eficiência econômica dos sistemas agrícolas (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

A produtividade agrícola tende a aumentar à medida que os processos ecológicos são recuperados. Solos com maior teor de matéria orgânica apresentam melhor disponibilidade de água e nutrientes. Essas condições favorecem o desenvolvimento das culturas e reduzem perdas causadas por estresses ambientais. Esse desempenho fortalece a estabilidade da produção e melhora os resultados econômicos em longo prazo (Teng *et al.*, 2024; Nthebere *et al.*, 2025; Rosier *et al.*, 2025).

A diversificação produtiva também produz efeitos econômicos relevantes. A produção de diferentes culturas amplia as fontes de renda e reduz a dependência de um único produto agrícola. Essa estratégia diminui riscos associados às oscilações de preços, às pragas e às condições climáticas adversas. Essa estabilidade aumenta a segurança financeira das propriedades rurais (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

Os estudos também destacam a importância da resiliência econômica. Sistemas regenerativos apresentam maior capacidade de manter a produção durante períodos de seca, chuvas intensas e outras alterações climáticas. Essa estabilidade reduz prejuízos financeiros e aumenta a previsibilidade da renda agrícola. Esses benefícios fortalecem a permanência dos produtores na atividade rural (Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022; Rosier *et al.*, 2025).

A agricultura regenerativa também pode ampliar oportunidades de mercado. A crescente demanda por produtos obtidos por sistemas sustentáveis aumenta o interesse por práticas regenerativas. Essa valorização favorece estratégias de diferenciação comercial e pode gerar vantagens competitivas para os produtores. Esse cenário

fortalece a sustentabilidade econômica das cadeias produtivas (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

Os benefícios econômicos dependem do apoio institucional durante a fase de transição. A adoção inicial pode exigir investimentos em capacitação, assistência técnica e reorganização do sistema produtivo. Políticas públicas e programas de incentivo reduzem essas barreiras e aumentam a viabilidade econômica da agricultura regenerativa. Esse suporte facilita a implementação das práticas agroecológicas (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

Os impactos econômicos da agricultura regenerativa decorrem da interação entre recuperação ambiental, eficiência produtiva e gestão sustentável dos recursos naturais. A melhoria da qualidade do solo, a redução dos custos operacionais, a diversificação produtiva e o aumento da resiliência fortalecem a estabilidade financeira das propriedades rurais. Esses resultados reforçam o potencial da agricultura regenerativa para promover desenvolvimento econômico aliado à conservação ambiental e ao desenvolvimento rural sustentável (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.9.3. Impactos Sociais

Os impactos sociais da agricultura regenerativa são amplamente destacados na literatura científica. Os estudos indicam que esse modelo produtivo fortalece o desenvolvimento das comunidades rurais, amplia a participação dos agricultores e favorece a construção de sistemas alimentares mais sustentáveis. Esses benefícios resultam da integração entre conservação ambiental, geração de

renda e fortalecimento das relações sociais no meio rural (Brumer *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

A valorização do conhecimento dos agricultores representa um dos principais impactos sociais observados. A agricultura regenerativa reconhece a importância dos saberes locais e incentiva sua integração com o conhecimento científico. Essa interação favorece o desenvolvimento de soluções adaptadas às condições de cada região. Esse processo fortalece a autonomia dos produtores e amplia sua capacidade de tomada de decisão (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

A cooperação entre agricultores também aumenta nos sistemas regenerativos. A troca de experiências durante cursos, dias de campo e atividades de extensão fortalece o aprendizado coletivo. Essa interação facilita a disseminação das práticas agroecológicas e reduz dificuldades durante a transição dos sistemas convencionais. Esse ambiente colaborativo contribui para o fortalecimento das comunidades rurais (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

A agricultura regenerativa também favorece a geração de trabalho e renda. A diversificação produtiva amplia as atividades desenvolvidas nas propriedades rurais e cria novas oportunidades econômicas. Essa estratégia reduz a dependência de uma única cultura e fortalece a estabilidade financeira das famílias agricultoras. Esses benefícios contribuem para a permanência da população no meio rural (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

A melhoria das condições ambientais produz reflexos positivos sobre a qualidade de vida das comunidades. A conservação do solo, da

água e da biodiversidade reduz processos de degradação ambiental e melhora as condições de produção agrícola. A menor dependência de insumos químicos também reduz riscos ocupacionais e ambientais. Esses fatores favorecem ambientes rurais mais saudáveis para produtores e consumidores (Pe'er *et al.*, 2020; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rosier *et al.*, 2025).

A segurança alimentar também apresenta relação direta com os impactos sociais da agricultura regenerativa. Sistemas agrícolas mais resilientes aumentam a estabilidade da produção e favorecem a disponibilidade contínua de alimentos. A diversificação das culturas amplia a oferta de alimentos e fortalece dietas mais variadas. Esses benefícios contribuem para a redução da vulnerabilidade alimentar das comunidades rurais e urbanas (Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022; Rosier *et al.*, 2025).

Os estudos também evidenciam que a assistência técnica e a extensão rural fortalecem os impactos sociais da agricultura regenerativa. O acesso à capacitação amplia o conhecimento dos produtores e facilita a adoção de práticas sustentáveis. O apoio institucional aumenta a participação dos agricultores em programas de conservação ambiental e desenvolvimento rural. Essas ações fortalecem a inclusão social e ampliam a capacidade de inovação das propriedades agrícolas (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Brumer *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

Os impactos sociais da agricultura regenerativa resultam da integração entre participação comunitária, valorização do conhecimento local, fortalecimento econômico e conservação ambiental. Essa combinação amplia a qualidade de vida das populações rurais, fortalece a segurança alimentar e contribui para o

desenvolvimento rural sustentável. Esses resultados reforçam a importância da agricultura regenerativa como estratégia para promover sistemas agrícolas socialmente mais inclusivos, resilientes e sustentáveis (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.9.4. Impactos Produtivos

Os impactos produtivos da agricultura regenerativa são amplamente abordados na literatura científica. Os estudos demonstram que as práticas regenerativas melhoram o desempenho dos sistemas agrícolas por meio da recuperação dos processos ecológicos. A produtividade torna-se mais estável quando o manejo prioriza a conservação dos recursos naturais. Esses resultados fortalecem a sustentabilidade da produção em longo prazo (Rhodes, 2017; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A melhoria da saúde do solo representa um dos principais fatores responsáveis pelos impactos produtivos. O aumento da matéria orgânica melhora a estrutura física e favorece a disponibilidade de nutrientes. A atividade biológica intensifica a ciclagem de nutrientes e aumenta a fertilidade natural. Essas condições promovem melhor desenvolvimento das culturas e favorecem maiores níveis de produtividade (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

A conservação dos recursos hídricos também aumenta a eficiência produtiva. A maior infiltração de água reduz perdas por escoamento superficial e amplia a disponibilidade hídrica durante os períodos de estiagem. A cobertura permanente do solo diminui a evaporação e protege a superfície contra processos erosivos. Esses mecanismos

favorecem maior estabilidade da produção agrícola (Hamidov *et al.*, 2018; Nthebere *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

A diversificação produtiva contribui para o desempenho dos agroecossistemas. A combinação de diferentes espécies vegetais reduz riscos associados às monoculturas. A rotação de culturas melhora a fertilidade do solo e reduz a ocorrência de pragas e doenças. Os sistemas agroflorestais e a integração lavoura-pecuária-floresta ampliam o aproveitamento dos recursos naturais. Essas estratégias fortalecem a produtividade e aumentam a estabilidade dos sistemas agrícolas (Jat *et al.*, 2019; Paul *et al.*, 2020; Van Selm *et al.*, 2023).

A biodiversidade funcional também influencia positivamente os resultados produtivos. Microrganismos favorecem a disponibilidade de nutrientes. Polinizadores aumentam a eficiência reprodutiva de diversas culturas. Inimigos naturais reduzem populações de pragas. Esses serviços ecossistêmicos diminuem a necessidade de insumos químicos e favorecem maior equilíbrio biológico das áreas cultivadas (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Os sistemas regenerativos apresentam maior estabilidade diante das mudanças climáticas. A melhoria da qualidade do solo aumenta a resistência das culturas aos períodos de seca e às chuvas intensas. A conservação da cobertura vegetal reduz perdas produtivas provocadas por eventos climáticos extremos. Essa característica fortalece a continuidade da produção agrícola ao longo do tempo (Seppelt *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025).

Os estudos também indicam que os impactos produtivos são mais expressivos quando diferentes práticas regenerativas são adotadas simultaneamente. O plantio direto, a cobertura permanente do solo, a adubação verde, a compostagem, a rotação de culturas e o manejo ecológico de pragas atuam de forma complementar. Essa integração potencializa os processos ecológicos e amplia a eficiência dos sistemas produtivos (Jat *et al.*, 2019; Rosier *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

Os impactos produtivos da agricultura regenerativa decorrem da recuperação da funcionalidade dos agroecossistemas. A melhoria da saúde do solo, a conservação da água, o fortalecimento da biodiversidade e a diversificação produtiva aumentam simultaneamente a produtividade, a estabilidade da produção e a resiliência dos sistemas agrícolas. Esses resultados reforçam o potencial da agricultura regenerativa para promover produção sustentável, segurança alimentar e desenvolvimento rural em longo prazo (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.9.5. Comparação Entre Sistemas Regenerativos e Convencionais

A literatura demonstra diferenças importantes entre os sistemas regenerativos e os sistemas agrícolas convencionais. Essas diferenças envolvem o manejo do solo, o uso dos recursos naturais, a biodiversidade, a produtividade e a sustentabilidade dos agroecossistemas. Os sistemas regenerativos priorizam a recuperação dos processos ecológicos. Os sistemas convencionais concentram-se principalmente na maximização da produção por meio do uso intensivo de insumos externos (Rhodes, 2017; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

O manejo do solo representa uma das principais diferenças entre esses sistemas. A agricultura regenerativa mantém cobertura permanente, utiliza rotação de culturas e reduz o revolvimento do solo. Essas práticas favorecem o aumento da matéria orgânica e melhoram a estrutura física do solo. Em contraste, sistemas convencionais frequentemente utilizam preparo intensivo, o que acelera processos erosivos e reduz a qualidade do solo ao longo do tempo (Jat *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025).

A utilização dos insumos agrícolas também difere entre os dois modelos. Os sistemas regenerativos priorizam processos biológicos e reduzem gradualmente a dependência de fertilizantes sintéticos e defensivos químicos. Os sistemas convencionais apresentam maior consumo desses insumos para manter elevados níveis de produtividade. Essa diferença influencia diretamente os custos de produção e os impactos ambientais (Çakmakçı; Çakmakçı; Çakmakçı, 2025; Dittmer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025).

A biodiversidade apresenta comportamento distinto nos dois sistemas. A agricultura regenerativa promove diversificação de culturas, cobertura vegetal e conservação dos habitats naturais. Essas estratégias favorecem a presença de microrganismos, polinizadores e inimigos naturais. Os sistemas convencionais, especialmente aqueles baseados em monoculturas, apresentam menor diversidade biológica e menor oferta de serviços ecossistêmicos (Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Van Selm *et al.*, 2023).

A resposta às mudanças climáticas também diferencia os dois modelos. Sistemas regenerativos apresentam maior capacidade de infiltração de água, maior armazenamento de carbono e maior

resiliência frente a secas e chuvas intensas. Essas características reduzem perdas produtivas durante eventos climáticos extremos. Os sistemas convencionais tendem a apresentar maior vulnerabilidade quando ocorre degradação do solo e redução da cobertura vegetal (Seppelt *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

Os estudos também apontam diferenças econômicas entre esses sistemas. A agricultura regenerativa pode exigir investimentos iniciais durante a fase de transição. Entretanto, a melhoria da fertilidade do solo e a redução da dependência de insumos externos diminuem os custos operacionais ao longo do tempo. Os sistemas convencionais frequentemente apresentam maior dependência de insumos comerciais, o que aumenta a exposição às oscilações de preços do mercado (Mulungu *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

Os impactos sociais também diferem entre os modelos produtivos. A agricultura regenerativa valoriza o conhecimento dos agricultores, fortalece a cooperação entre produtores e estimula processos participativos de aprendizagem. Esses fatores favorecem o desenvolvimento rural sustentável e ampliam a capacidade de adaptação das comunidades agrícolas. Os sistemas convencionais normalmente apresentam menor integração entre os componentes ecológicos e sociais da produção (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

Ambos os sistemas podem alcançar níveis satisfatórios de produção agrícola. Entretanto, os sistemas regenerativos apresentam vantagens relacionadas à conservação ambiental, à resiliência climática, à recuperação da qualidade do solo, à diversificação produtiva e à sustentabilidade em longo prazo. Esses resultados

reforçam que a agricultura regenerativa constitui uma alternativa capaz de integrar produtividade, conservação dos recursos naturais e desenvolvimento rural sustentável de maneira mais equilibrada do que os sistemas convencionais (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.9.6. Principais Convergências e Divergências Encontradas na Literatura

A literatura analisada apresenta ampla convergência quanto aos benefícios da agricultura regenerativa. A maioria dos estudos reconhece que esse modelo favorece a conservação dos recursos naturais e fortalece a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Os autores também concordam que práticas regenerativas melhoram a qualidade do solo, aumentam a biodiversidade e ampliam a resiliência dos agroecossistemas. Esses resultados aparecem de forma recorrente entre os diferentes estudos incluídos nesta revisão (Rhodes, 2017; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Os estudos também convergem quanto à importância da recuperação da saúde do solo. As pesquisas demonstram que o aumento da matéria orgânica melhora a estrutura física, química e biológica do solo. Esse processo favorece a retenção de água, a ciclagem de nutrientes e a produtividade agrícola. Esses benefícios são descritos de forma consistente na literatura científica (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Teng *et al.*, 2024).

Outra convergência envolve os efeitos positivos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. Os autores destacam que a diversificação das culturas e a conservação da vegetação favorecem microrganismos, polinizadores e inimigos naturais. Esses

organismos fortalecem os processos ecológicos responsáveis pelo equilíbrio dos agroecossistemas. Essa relação é amplamente reconhecida entre os estudos revisados (Dittmer *et al.*, 2023; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A literatura também apresenta consenso sobre a contribuição da agricultura regenerativa para a adaptação às mudanças climáticas. Os estudos indicam aumento da capacidade de retenção de água, maior sequestro de carbono no solo e redução da vulnerabilidade aos eventos climáticos extremos. Esses mecanismos fortalecem a estabilidade produtiva e ampliam a sustentabilidade ambiental dos sistemas agrícolas (Seppelt *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

Entretanto, algumas divergências também são observadas. Os estudos diferem quanto à magnitude dos ganhos de produtividade durante a fase inicial de adoção das práticas regenerativas. Alguns autores relatam aumentos graduais na produção após a recuperação dos processos ecológicos. Outros estudos indicam que os resultados dependem das condições ambientais, do tempo de transição e das práticas adotadas em cada propriedade (Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024).

Diferenças também aparecem na avaliação dos impactos econômicos de curto prazo. Parte da literatura destaca que a implantação dos sistemas regenerativos exige investimentos iniciais em capacitação, reorganização do manejo e assistência técnica. Outros estudos enfatizam que a redução dos custos operacionais e o aumento da eficiência produtiva compensam esses investimentos ao longo do tempo. Essas diferenças refletem as distintas realidades

produtivas avaliadas nas pesquisas (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Souissi *et al.*, 2024).

Outra divergência refere-se à disponibilidade de indicadores padronizados para avaliar a agricultura regenerativa. Os estudos utilizam diferentes métodos para mensurar qualidade do solo, biodiversidade, sequestro de carbono, produtividade e sustentabilidade. Essa diversidade metodológica dificulta comparações diretas entre pesquisas conduzidas em diferentes regiões e sistemas agrícolas. Apesar dessa limitação, os resultados apontam tendências semelhantes quanto aos benefícios das práticas regenerativas (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

De forma geral, a literatura apresenta elevado grau de convergência quanto aos benefícios ambientais, produtivos, econômicos e sociais da agricultura regenerativa. As divergências concentram-se principalmente na intensidade dos resultados, no tempo necessário para sua consolidação e nos métodos utilizados para avaliá-los. Essas diferenças não invalidam as evidências disponíveis. Ao contrário, demonstram a necessidade de ampliar pesquisas de longo prazo e de padronizar indicadores que permitam comparar diferentes contextos produtivos. Esse avanço fortalecerá a produção científica e ampliará a compreensão dos efeitos da agricultura regenerativa sobre os sistemas agrícolas e o desenvolvimento rural sustentável (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.10. Limitações, Desafios e Perspectivas Futuras

A agricultura regenerativa apresenta elevado potencial para promover sustentabilidade ambiental, econômica e social.

Entretanto, os estudos também identificam limitações que dificultam sua ampla implementação. Essas limitações envolvem fatores técnicos, econômicos, institucionais e científicos. Esses desafios exigem estratégias integradas para ampliar a adoção das práticas regenerativas (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

A disponibilidade limitada de evidências de longo prazo representa uma importante limitação científica. Muitos estudos apresentam resultados obtidos em períodos relativamente curtos. Essa característica dificulta a avaliação completa dos efeitos da agricultura regenerativa sobre produtividade, biodiversidade e sequestro de carbono. Pesquisas de maior duração podem fornecer evidências mais robustas sobre esses processos (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

A ausência de padronização metodológica também constitui um desafio relevante. Os estudos utilizam diferentes indicadores para avaliar qualidade do solo, biodiversidade, produtividade e sustentabilidade. Essa diversidade dificulta comparações entre pesquisas desenvolvidas em diferentes regiões e condições ambientais. A construção de protocolos padronizados poderá aumentar a comparabilidade dos resultados científicos (Rosier *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

A transição dos sistemas convencionais para modelos regenerativos apresenta desafios técnicos e econômicos. Muitos produtores necessitam reorganizar o manejo agrícola e investir em capacitação, planejamento e assistência técnica. Os benefícios ambientais e econômicos geralmente aparecem de forma gradual. Essa característica pode limitar a adoção por agricultores com menor

disponibilidade de recursos financeiros (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Souissi *et al.*, 2024).

A assistência técnica ainda representa um desafio em diversas regiões. Muitos produtores possuem acesso restrito a programas de extensão rural e capacitação especializada. Essa limitação reduz a disseminação das práticas regenerativas e dificulta a adaptação das tecnologias às condições locais. O fortalecimento dos serviços de assistência técnica poderá acelerar a adoção da agricultura regenerativa (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

As políticas públicas também influenciam o avanço da agricultura regenerativa. A literatura destaca a necessidade de ampliar programas de incentivo financeiro, crédito rural e apoio à pesquisa científica. Esses instrumentos reduzem barreiras econômicas e fortalecem a implementação das práticas agroecológicas. A integração entre governo, instituições de pesquisa e organizações de produtores amplia a efetividade dessas ações (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

As mudanças climáticas ampliam a necessidade de novas pesquisas. Eventos extremos modificam as condições ambientais e exigem sistemas agrícolas mais resilientes. Estudos futuros poderão avaliar o desempenho das práticas regenerativas em diferentes cenários climáticos e produtivos. Essas investigações contribuirão para aperfeiçoar estratégias de adaptação e mitigação no setor agrícola (Seppelt *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

As perspectivas futuras indicam expansão da agricultura regenerativa em diferentes sistemas produtivos. O avanço do

conhecimento científico, o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e o fortalecimento das políticas públicas tendem a ampliar sua adoção. A integração entre pesquisa, inovação, assistência técnica e participação dos agricultores poderá acelerar esse processo. Essa articulação favorecerá sistemas agrícolas mais eficientes, resilientes e sustentáveis (Brumer *et al.*, 2023; Rosier *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

De forma geral, os desafios existentes não reduzem a relevância da agricultura regenerativa. Ao contrário, evidenciam a necessidade de ampliar investimentos em pesquisa, capacitação, inovação e políticas públicas. O enfrentamento dessas limitações permitirá consolidar práticas regenerativas em diferentes contextos agrícolas e fortalecer sua contribuição para a conservação ambiental, a segurança alimentar e o desenvolvimento rural sustentável nas próximas décadas (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.10.1. Limitações Metodológicas dos Estudos

Limitações metodológicas influenciam a interpretação dos resultados sobre agricultura regenerativa. Os estudos utilizam diferentes delineamentos experimentais, indicadores de avaliação e escalas de análise. Essa heterogeneidade dificulta comparações diretas entre as pesquisas. Essa característica representa uma das principais limitações identificadas nesta revisão (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

Os critérios utilizados para definir agricultura regenerativa variam entre os estudos. Alguns autores consideram apenas práticas conservacionistas específicas. Outros incluem abordagens mais

amplas relacionadas à recuperação dos processos ecológicos e dos serviços ecossistêmicos. Essa ausência de consenso conceitual dificulta a comparação dos resultados publicados (Rhodes, 2017; Rosier *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

Os indicadores empregados para avaliar os impactos também apresentam grande diversidade. Alguns estudos priorizam características físicas, químicas e biológicas do solo. Outros concentram suas análises na produtividade agrícola, na biodiversidade, no sequestro de carbono ou nos aspectos econômicos. Essa variedade metodológica limita a integração dos resultados disponíveis na literatura (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

O período de acompanhamento das pesquisas representa outra limitação recorrente. Muitos estudos avaliam os efeitos das práticas regenerativas em intervalos relativamente curtos. Entretanto, diversos processos ecológicos ocorrem de forma gradual e podem exigir vários anos para apresentar resultados consistentes. Essa característica pode subestimar alguns benefícios da agricultura regenerativa (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Seppelt *et al.*, 2022).

As diferenças entre regiões de estudo também dificultam a comparação dos resultados. As pesquisas foram conduzidas em distintas condições climáticas, tipos de solo, sistemas produtivos e contextos socioeconômicos. Essas variações influenciam o desempenho das práticas regenerativas e limitam a extrapolação dos resultados para outras realidades agrícolas (Hamidov *et al.*, 2018; Van Selm *et al.*, 2023; Mulungu *et al.*, 2024).

A integração entre indicadores ambientais, econômicos e sociais ainda é limitada em parte da literatura. Muitos estudos avaliam apenas um conjunto específico de variáveis. Essa abordagem reduz a compreensão dos efeitos sistêmicos da agricultura regenerativa. Avaliações multidimensionais podem fornecer evidências mais completas sobre os impactos desse modelo produtivo (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Os estudos também apresentam diferenças quanto aos métodos estatísticos utilizados para interpretar os resultados. A diversidade de procedimentos analíticos dificulta comparações quantitativas entre pesquisas e reduz a padronização das evidências disponíveis. Essa limitação reforça a necessidade de protocolos metodológicos mais uniformes para futuras investigações (Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025; Rosier *et al.*, 2025).

Essas limitações metodológicas não invalidam as evidências disponíveis sobre agricultura regenerativa. Entretanto, elas indicam a necessidade de ampliar estudos de longo prazo, padronizar conceitos, uniformizar indicadores e integrar avaliações ambientais, econômicas e sociais. Esses avanços metodológicos fortalecerão a qualidade das evidências científicas e ampliarão a compreensão dos efeitos da agricultura regenerativa em diferentes sistemas agrícolas e contextos ambientais (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.10.2. Limitações da Adoção em Larga Escala

A adoção da agricultura regenerativa em larga escala ainda enfrenta diversas limitações. Os estudos indicam que fatores econômicos, técnicos, sociais e institucionais dificultam a expansão desse modelo

produtivo. Essas limitações reduzem a velocidade de implementação das práticas regenerativas em diferentes regiões agrícolas. Esse cenário exige estratégias integradas para ampliar sua disseminação (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

Os custos iniciais representam uma das principais barreiras à adoção. Muitos produtores precisam investir em capacitação, reorganização do sistema produtivo e aquisição de tecnologias apropriadas. Esses investimentos podem ser elevados, principalmente para pequenos agricultores. Essa condição dificulta a transição dos sistemas convencionais para os sistemas regenerativos (Wardle *et al.*, 2024; Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023).

O retorno econômico também influencia a adoção em larga escala. Diversos benefícios da agricultura regenerativa surgem apenas no médio e longo prazo. A recuperação da fertilidade do solo, o aumento da biodiversidade e a melhoria da estabilidade produtiva exigem tempo para se consolidarem. Essa característica pode reduzir o interesse de produtores que necessitam de retorno financeiro imediato (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

A disponibilidade limitada de assistência técnica representa outra restrição importante. Muitos agricultores não possuem acesso contínuo a serviços especializados em agricultura regenerativa. Essa limitação dificulta a implementação correta das práticas conservacionistas e reduz a eficiência da transição produtiva. O fortalecimento da extensão rural pode minimizar esse problema (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

As diferenças ambientais também dificultam a expansão desse modelo. As práticas regenerativas precisam ser adaptadas às características de cada região, incluindo clima, tipo de solo, disponibilidade hídrica e sistema produtivo. Essa necessidade reduz a possibilidade de adoção de modelos padronizados para diferentes contextos agrícolas. O planejamento local torna-se indispensável para o sucesso das intervenções (Hamidov *et al.*, 2018; Nthebere *et al.*, 2025; Rosier *et al.*, 2025).

As limitações institucionais também influenciam esse processo. Em diversas regiões, os programas de incentivo, financiamento e pesquisa ainda são insuficientes para atender à demanda dos produtores. A ausência de políticas públicas permanentes reduz a segurança para investimentos em sistemas regenerativos. Essa condição limita a expansão dessas práticas em escala regional e nacional (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

A produção científica também apresenta limitações para apoiar a adoção em larga escala. Ainda existem poucos estudos de longo prazo desenvolvidos em diferentes condições ambientais e sistemas agrícolas. Essa lacuna dificulta a definição de protocolos amplamente aplicáveis para distintas realidades produtivas. Novas pesquisas poderão ampliar a segurança técnica das recomendações destinadas aos agricultores (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

Apesar dessas limitações, a adoção da agricultura regenerativa tende a crescer nos próximos anos. O aumento das evidências científicas, o fortalecimento das políticas públicas, a ampliação da assistência técnica e o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis podem reduzir progressivamente as barreiras existentes. Essa

evolução favorecerá a consolidação de sistemas agrícolas mais resilientes, produtivos e sustentáveis em larga escala (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.10.3. Barreiras Econômicas e Institucionais

As barreiras econômicas e institucionais representam importantes obstáculos para a expansão da agricultura regenerativa. Tais fatores influenciam diretamente a decisão dos produtores sobre a adoção de práticas agroecológicas. As limitações financeiras e a insuficiência de apoio institucional retardam a transição para sistemas agrícolas regenerativos. Essa realidade reduz a velocidade de disseminação desse modelo produtivo (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

Os investimentos iniciais constituem uma das principais barreiras econômicas. Muitos produtores precisam reorganizar o manejo da propriedade, investir em capacitação e adotar novas tecnologias. Essas mudanças exigem recursos financeiros que nem sempre estão disponíveis, principalmente para pequenos agricultores. Essa condição dificulta a implementação das práticas regenerativas (Wardle *et al.*, 2024; Mulungu *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023).

O retorno financeiro ocorre, frequentemente, em médio ou longo prazo. A recuperação da fertilidade do solo, o aumento da biodiversidade e a redução da dependência de insumos químicos exigem tempo para produzir benefícios econômicos consistentes. Essa característica reduz o interesse de produtores que necessitam de resultados imediatos para manter a viabilidade da propriedade (Krause *et al.*, 2024; Hao *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

O acesso ao crédito rural também influencia a adoção da agricultura regenerativa. Muitos programas de financiamento ainda priorizam modelos convencionais de produção. Essa limitação reduz as oportunidades de investimento em tecnologias regenerativas e dificulta a expansão desses sistemas agrícolas. A ampliação de linhas específicas de financiamento pode favorecer esse processo (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

As limitações institucionais também representam desafios importantes. Em diversas regiões, a assistência técnica especializada permanece insuficiente para atender à demanda dos produtores. A carência de profissionais capacitados reduz o acesso às informações necessárias para a implementação adequada das práticas regenerativas. Essa deficiência compromete a eficiência da transição agroecológica (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

As políticas públicas ainda apresentam limitações em muitos contextos agrícolas. A literatura destaca que programas de incentivo, conservação ambiental e desenvolvimento rural nem sempre possuem continuidade ou abrangência suficiente. Essa descontinuidade reduz a segurança dos produtores para realizar investimentos de longo prazo. Essa situação limita a consolidação da agricultura regenerativa em larga escala (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024).

A articulação entre instituições também necessita de fortalecimento. A integração entre governos, universidades, centros de pesquisa, serviços de extensão rural e organizações de produtores ainda ocorre de forma desigual em diferentes regiões. Essa limitação reduz a eficiência da transferência de conhecimento e

dificulta a disseminação das inovações tecnológicas voltadas à agricultura regenerativa (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

A superação dessas barreiras depende da atuação integrada de diferentes setores. O fortalecimento das políticas públicas, a ampliação da assistência técnica, a oferta de crédito direcionado, o incentivo à pesquisa científica e a cooperação entre instituições podem reduzir os obstáculos existentes. Essas ações favorecem a adoção das práticas agroecológicas e ampliam a contribuição da agricultura regenerativa para a conservação ambiental, a segurança alimentar e o desenvolvimento rural sustentável (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

2.10.4. Lacunas do Conhecimento Científico

O conhecimento sobre agricultura regenerativa evoluiu de forma significativa nos últimos anos. Entretanto, ainda existem importantes lacunas científicas que limitam a compreensão completa dos seus efeitos. Essas lacunas dificultam a padronização das evidências e reduzem a comparabilidade entre os estudos. Esse cenário reforça a necessidade de ampliar as pesquisas sobre o tema (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

Uma das principais lacunas refere-se à ausência de uma definição universal para agricultura regenerativa. Os estudos utilizam diferentes conceitos e critérios para caracterizar esse modelo de produção. Alguns autores enfatizam práticas específicas. Outros priorizam os resultados ambientais obtidos pelos sistemas agrícolas. Essa diversidade conceitual dificulta a comparação entre pesquisas

e limita a consolidação do conhecimento científico (Rhodes, 2017; Rosier *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

Outra limitação envolve a escassez de estudos de longo prazo. Muitos trabalhos avaliam os efeitos das práticas regenerativas durante poucos anos. Entretanto, diversos processos ecológicos, como o acúmulo de matéria orgânica e o sequestro de carbono, ocorrem lentamente. Essa limitação impede a avaliação completa dos impactos da agricultura regenerativa ao longo do tempo (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Seppelt *et al.*, 2022).

A literatura também apresenta escassez de indicadores padronizados para mensurar os resultados dos sistemas regenerativos. Os estudos utilizam diferentes parâmetros para avaliar solo, biodiversidade, produtividade, emissões de gases de efeito estufa e sustentabilidade. Essa diversidade metodológica dificulta comparações quantitativas entre diferentes pesquisas e regiões agrícolas (Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025; Rahman *et al.*, 2024).

As pesquisas disponíveis concentram-se principalmente em determinados contextos geográficos e sistemas produtivos. Ainda existem poucas investigações desenvolvidas em diferentes condições climáticas, tipos de solo e realidades socioeconômicas. Essa limitação reduz a capacidade de generalização dos resultados e dificulta a adaptação das recomendações para diferentes regiões agrícolas (Hamidov *et al.*, 2018; Van Selm *et al.*, 2023; Mulungu *et al.*, 2024).

Outra lacuna envolve a integração entre os diferentes componentes da sustentabilidade. Grande parte dos estudos analisa

separadamente os impactos ambientais, econômicos ou sociais da agricultura regenerativa. Poucas pesquisas realizam avaliações integradas desses três componentes. Essa abordagem limita a compreensão sistêmica dos efeitos produzidos pelos sistemas regenerativos (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Os impactos econômicos de longo prazo também permanecem pouco explorados. Ainda existem limitações quanto à avaliação dos custos de transição, da rentabilidade em diferentes escalas produtivas e da influência das políticas públicas sobre a adoção das práticas regenerativas. Estudos futuros poderão ampliar o conhecimento sobre a viabilidade econômica desses sistemas (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

As pesquisas também necessitam aprofundar a compreensão sobre os mecanismos ecológicos responsáveis pelos benefícios observados. Estudos envolvendo microbiologia do solo, funcionamento dos serviços ecossistêmicos, dinâmica da biodiversidade e processos de sequestro de carbono poderão fortalecer as bases científicas da agricultura regenerativa. Esses avanços contribuirão para o aperfeiçoamento das recomendações técnicas destinadas aos produtores (Dittmer *et al.*, 2023; Hao *et al.*, 2025; Storkey *et al.*, 2024).

O preenchimento dessas lacunas constitui uma prioridade para o avanço da agricultura regenerativa. A ampliação de estudos de longo prazo, a padronização de conceitos e indicadores, a integração entre diferentes áreas do conhecimento e o fortalecimento da cooperação internacional poderão aumentar a robustez das evidências científicas. Esses avanços favorecerão a consolidação da

agricultura regenerativa como estratégia para promover conservação ambiental, segurança alimentar e desenvolvimento rural sustentável (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.10.5. Perspectivas Futuras para Pesquisa

A agricultura regenerativa constitui um campo científico em rápida expansão. O aumento do interesse por sistemas agrícolas sustentáveis amplia a necessidade de novas investigações. As pesquisas futuras poderão fortalecer as evidências sobre os efeitos ambientais, econômicos e sociais desse modelo produtivo. Esse avanço contribuirá para sua consolidação científica (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

Os estudos de longo prazo representam uma das principais prioridades para futuras pesquisas. Muitos benefícios da agricultura regenerativa ocorrem de forma gradual. A recuperação da matéria orgânica do solo, o aumento da biodiversidade e o sequestro de carbono exigem acompanhamento por vários anos. Investigações com maior duração poderão produzir evidências mais robustas sobre esses processos (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Seppelt *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2024).

A padronização de conceitos e indicadores também constitui uma necessidade científica. A literatura utiliza diferentes definições para agricultura regenerativa e emprega diversos métodos para avaliar seus impactos. Pesquisas futuras poderão desenvolver protocolos comuns para mensurar qualidade do solo, biodiversidade, produtividade, sustentabilidade e serviços ecossistêmicos. Essa

padronização facilitará comparações entre diferentes estudos (Rosier *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

A ampliação das pesquisas em diferentes regiões geográficas representa outra perspectiva importante. Os efeitos das práticas regenerativas podem variar conforme clima, tipo de solo, disponibilidade hídrica e sistema produtivo. Estudos conduzidos em distintos contextos ambientais aumentarão a capacidade de generalização das evidências científicas. Esses resultados favorecerão recomendações mais específicas para diferentes realidades agrícolas (Hamidov *et al.*, 2018; Van Selm *et al.*, 2023; Mulungu *et al.*, 2024).

A integração entre diferentes áreas do conhecimento também deverá receber maior atenção. Estudos multidisciplinares poderão reunir informações provenientes da agronomia, ecologia, microbiologia, economia, ciências sociais e mudanças climáticas. Essa abordagem permitirá compreender de forma mais ampla os efeitos da agricultura regenerativa sobre os agroecossistemas. Essa integração fortalecerá a construção de modelos mais completos de avaliação (Brumer *et al.*, 2023; Dittmer *et al.*, 2023; Hao *et al.*, 2025).

As pesquisas sobre inovação tecnológica apresentam grande potencial de crescimento. Novos estudos poderão avaliar bioinsumos, sistemas integrados de produção, ferramentas digitais, agricultura de precisão e técnicas avançadas de monitoramento ambiental. Essas tecnologias poderão aumentar a eficiência das práticas regenerativas e facilitar sua adoção pelos produtores rurais (Çakmakçi; Çakmakçi; Çakmakçi, 2025; Rosier *et al.*, 2025; Wardle *et al.*, 2024).

As investigações sobre aspectos econômicos e institucionais também permanecem prioritárias. Estudos futuros poderão avaliar modelos de financiamento, incentivos econômicos, políticas públicas e mecanismos de pagamento por serviços ambientais. Essas pesquisas contribuirão para identificar estratégias capazes de ampliar a adoção da agricultura regenerativa em diferentes escalas produtivas (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Opatski, 2025).

A literatura também destaca a necessidade de fortalecer pesquisas participativas. A integração entre pesquisadores, extensionistas e agricultores favorece a construção de soluções adaptadas às condições locais. Essa aproximação amplia a transferência de conhecimento e aumenta a aplicabilidade dos resultados científicos. Esse modelo fortalece a inovação e o desenvolvimento rural sustentável (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

De forma geral, as perspectivas futuras indicam que a agricultura regenerativa continuará recebendo crescente atenção da comunidade científica. O avanço das pesquisas permitirá reduzir lacunas do conhecimento, aperfeiçoar práticas de manejo e fortalecer as bases científicas desse modelo produtivo. Esses progressos contribuirão para ampliar a conservação dos recursos naturais, aumentar a segurança alimentar e promover sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis frente aos desafios ambientais das próximas décadas (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

2.10.6. Implicações para Políticas Públicas e Sustentabilidade Global

A agricultura regenerativa possui importantes implicações para as políticas públicas e para a sustentabilidade global. Os estudos indicam que esse modelo produtivo contribui para a conservação dos recursos naturais, para a segurança alimentar e para a mitigação das mudanças climáticas. Esses benefícios justificam a incorporação da agricultura regenerativa nas estratégias nacionais e internacionais de desenvolvimento sustentável (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

As políticas públicas desempenham papel fundamental na expansão da agricultura regenerativa. Programas de incentivo financeiro reduzem barreiras econômicas enfrentadas pelos produtores rurais. Linhas de crédito específicas favorecem investimentos em tecnologias conservacionistas. Esses instrumentos estimulam a adoção de práticas agroecológicas e fortalecem a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023).

A assistência técnica e a extensão rural também constituem componentes essenciais das políticas públicas. Esses serviços promovem capacitação, transferência de conhecimento e acompanhamento técnico durante a transição dos sistemas convencionais para os regenerativos. Esse suporte aumenta a eficiência da implementação das práticas conservacionistas e reduz dificuldades enfrentadas pelos agricultores (Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Brumer *et al.*, 2023).

As políticas voltadas para pesquisa e inovação fortalecem o desenvolvimento da agricultura regenerativa. O financiamento de estudos científicos amplia o conhecimento sobre manejo sustentável, recuperação ambiental e adaptação às mudanças

climáticas. A produção de evidências científicas subsidia decisões governamentais e orienta o aperfeiçoamento das práticas agrícolas. Esse investimento fortalece a inovação no setor agropecuário (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Hao *et al.*, 2025).

A agricultura regenerativa também apresenta implicações relevantes para a sustentabilidade global. As práticas regenerativas aumentam o sequestro de carbono no solo, conservam a biodiversidade e reduzem processos de degradação ambiental. Esses benefícios contribuem para enfrentar desafios globais relacionados às mudanças climáticas e à perda dos recursos naturais. Esses resultados aproximam a agricultura dos objetivos internacionais de desenvolvimento sustentável (Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Seppelt *et al.*, 2022; Rosier *et al.*, 2025).

A segurança alimentar também integra esse contexto. Sistemas regenerativos aumentam a estabilidade da produção agrícola e fortalecem a disponibilidade de alimentos em longo prazo. A melhoria da qualidade do solo e da eficiência do uso da água amplia a capacidade produtiva dos agroecossistemas. Esses fatores contribuem para reduzir vulnerabilidades alimentares em diferentes regiões do mundo (Rahman *et al.*, 2024; Van Selm *et al.*, 2023; Mulungu *et al.*, 2024).

A cooperação entre governos, instituições de pesquisa, organizações internacionais e produtores rurais amplia a efetividade das políticas públicas. Essa integração favorece a disseminação de tecnologias sustentáveis e fortalece programas de conservação ambiental. Esse esforço conjunto aumenta a capacidade de adaptação dos sistemas agrícolas frente aos desafios ambientais contemporâneos (Brumer *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024; Wardle *et al.*, 2024).

A consolidação da agricultura regenerativa depende da articulação entre conhecimento científico, políticas públicas e participação social. O fortalecimento dessas iniciativas poderá ampliar a adoção de sistemas agrícolas sustentáveis em diferentes países. Essa integração contribuirá para conservar os recursos naturais, reduzir os impactos das mudanças climáticas, promover segurança alimentar e fortalecer o desenvolvimento rural sustentável. Esses resultados evidenciam o papel estratégico da agricultura regenerativa na construção de sistemas alimentares mais resilientes e compatíveis com os desafios globais do século XXI (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

3. METODOLOGIA

Este estudo consiste em uma revisão integrativa da literatura. Esse método permite reunir, organizar e sintetizar evidências científicas sobre um tema específico. A revisão integrativa favorece a compreensão do estado atual do conhecimento. Esse método também permite identificar avanços, limitações e lacunas científicas. O presente estudo utilizou essa abordagem para analisar as evidências disponíveis sobre a agricultura regenerativa. A pesquisa buscou reunir informações relacionadas aos princípios, às práticas, aos impactos e aos desafios desse modelo de produção agrícola. A revisão também permitiu integrar resultados provenientes de diferentes estudos. Essa estratégia contribuiu para construir uma análise ampla, sistemática e fundamentada sobre o tema investigado.

A pesquisa adotou abordagem qualitativa. O estudo também apresentou caráter descritivo e exploratório. A abordagem qualitativa permitiu interpretar as evidências disponíveis na

literatura científica. O caráter descritivo possibilitou apresentar as principais características dos estudos selecionados. O caráter exploratório favoreceu a ampliação do conhecimento sobre a agricultura regenerativa. A análise concentrou-se na identificação dos conceitos, das práticas, dos impactos e das perspectivas relacionadas ao tema. A organização das informações ocorreu de forma sistemática. Esse procedimento permitiu integrar os resultados encontrados e construir uma síntese consistente do conhecimento científico disponível.

A pesquisa foi orientada por uma pergunta norteadora. Essa pergunta direcionou todas as etapas da revisão integrativa. O estudo buscou identificar as evidências científicas disponíveis sobre a agricultura regenerativa. A investigação concentrou-se nos princípios, nas práticas e nos impactos desse modelo de produção agrícola. A pesquisa também procurou identificar os fatores associados à adoção das práticas agroecológicas. O estudo analisou as limitações e os desafios descritos na literatura. A investigação ainda reuniu informações sobre as perspectivas futuras da agricultura regenerativa. Essa estratégia garantiu maior objetividade durante a busca, a seleção, a análise e a síntese dos estudos incluídos na revisão.

A busca bibliográfica ocorreu em bases de dados científicas nacionais e internacionais. A pesquisa utilizou fontes reconhecidas pela qualidade das publicações indexadas. As bases selecionadas reuniram estudos relacionados à agricultura regenerativa, à agroecologia e à sustentabilidade agrícola. A estratégia de busca priorizou artigos científicos publicados em periódicos revisados por pares. A pesquisa também considerou estudos disponíveis em texto completo. O levantamento ocorreu de forma sistemática e

organizada. Esse procedimento ampliou a abrangência da revisão e aumentou a confiabilidade das evidências científicas selecionadas para compor o presente estudo.

A estratégia de busca utilizou descritores relacionados ao tema da pesquisa. Os descritores foram definidos de acordo com os objetivos do estudo. A busca empregou termos em português e em inglês. A pesquisa combinou os descritores por meio dos operadores booleanos “AND” e “OR”. O operador “AND” restringiu os resultados às publicações que continham todos os termos pesquisados. O operador “OR” ampliou a recuperação de estudos com descritores equivalentes ou complementares. Diferentes combinações foram realizadas durante a busca bibliográfica. Esse procedimento aumentou a sensibilidade da estratégia de pesquisa e favoreceu a identificação do maior número possível de estudos relevantes.

Os critérios de inclusão foram definidos antes do início da seleção dos estudos. A pesquisa incluiu artigos científicos publicados em periódicos revisados por pares. O estudo considerou publicações disponíveis na íntegra. A seleção contemplou trabalhos redigidos em português e em inglês. A revisão priorizou estudos diretamente relacionados à agricultura regenerativa e aos temas associados aos objetivos da pesquisa. A análise também considerou a relevância científica e a aderência temática de cada publicação. Esses critérios garantiram maior consistência na composição da amostra e aumentaram a confiabilidade da revisão integrativa.

Os critérios de exclusão também foram definidos antes da seleção dos estudos. A pesquisa excluiu artigos duplicados identificados em mais de uma base de dados. O estudo desconsiderou publicações sem relação direta com o tema da pesquisa. A revisão excluiu

trabalhos indisponíveis na íntegra. A análise também descartou documentos com informações insuficientes para atender aos objetivos do estudo. A pesquisa não incluiu resumos, editoriais, cartas ao editor, trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses e literatura cinzenta. Esses critérios aumentaram a qualidade da amostra e fortaleceram a consistência da revisão integrativa.

O processo de seleção dos estudos ocorreu em etapas sucessivas. A pesquisa iniciou com a identificação das publicações recuperadas nas bases de dados. Em seguida, a análise verificou a existência de registros duplicados. Os estudos repetidos foram excluídos. A avaliação prosseguiu com a leitura dos títulos e dos resumos. Essa etapa verificou a pertinência temática de cada publicação. Os artigos potencialmente elegíveis foram submetidos à leitura na íntegra. A seleção final incluiu apenas os estudos que atenderam a todos os critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos. Esse procedimento garantiu maior rigor metodológico e aumentou a confiabilidade da revisão integrativa.

A extração dos dados ocorreu de forma sistemática. A pesquisa registrou as principais informações de cada estudo selecionado. A análise identificou os autores e o ano de publicação. O estudo também registrou o país de realização da pesquisa. A extração contemplou os objetivos, o delineamento metodológico e as práticas regenerativas investigadas. A análise reuniu os principais resultados e as conclusões apresentadas pelos autores. As informações foram organizadas em um instrumento de coleta de dados. Esse procedimento facilitou a comparação entre os estudos e contribuiu para a construção da síntese das evidências científicas.

A análise dos dados ocorreu de forma descritiva e qualitativa. A pesquisa organizou as informações conforme os objetivos do estudo. A análise identificou padrões, convergências e divergências entre os estudos selecionados. O processo também agrupou as evidências por categorias temáticas. Essa organização facilitou a interpretação dos resultados. A síntese narrativa integrou as principais informações encontradas na literatura. Esse procedimento permitiu compreender o estado atual do conhecimento sobre a agricultura regenerativa. A análise também contribuiu para identificar lacunas científicas, limitações metodológicas e perspectivas para futuras pesquisas.

A pesquisa utilizou exclusivamente artigos científicos disponíveis em bases de dados bibliográficas. O estudo não envolveu a participação direta de seres humanos. A pesquisa também não utilizou animais em procedimentos experimentais. Todas as informações analisadas pertencem ao domínio público e estão disponíveis na literatura científica. Por essa razão, o estudo não exigiu aprovação por Comitê de Ética em Pesquisa. A revisão respeitou os princípios da integridade científica durante todas as etapas da investigação. A pesquisa preservou a autoria das publicações consultadas e utilizou corretamente as referências bibliográficas. Esse procedimento garantiu a transparência e a confiabilidade do estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Resultados

A busca bibliográfica resultou na seleção de estudos científicos relacionados à agricultura regenerativa. Os artigos incluídos atenderam aos critérios de elegibilidade previamente estabelecidos.

As publicações abrangeram diferentes países e distintos contextos agrícolas. Os estudos foram desenvolvidos em diversos sistemas de produção. As pesquisas utilizaram diferentes delineamentos metodológicos. Os artigos abordaram aspectos ambientais, econômicos, sociais e produtivos da agricultura regenerativa. A maior parte das publicações concentrou-se na avaliação das práticas conservacionistas, da saúde do solo, da mitigação das mudanças climáticas e da sustentabilidade dos agroecossistemas. O conjunto das evidências permitiu identificar tendências consistentes sobre os benefícios, os desafios e as perspectivas da agricultura regenerativa (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

As pesquisas apresentaram diferentes delineamentos metodológicos. A maioria dos estudos adotou abordagem quantitativa. Alguns trabalhos utilizaram abordagem qualitativa. Outros estudos combinaram métodos quantitativos e qualitativos. As pesquisas empregaram experimentos de campo, estudos observacionais, revisões da literatura e análises comparativas. Diversos estudos avaliaram indicadores físicos, químicos e biológicos do solo. Outros estudos analisaram aspectos econômicos, sociais e produtivos dos sistemas agrícolas. Essa diversidade metodológica ampliou a compreensão sobre a agricultura regenerativa. Essa característica também permitiu avaliar seus impactos em diferentes condições ambientais e produtivas (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Wardle *et al.*, 2024).

Os estudos abordaram diferentes temas relacionados à agricultura regenerativa. A maioria das pesquisas concentrou-se na conservação do solo e dos recursos hídricos. Diversos estudos avaliaram o sequestro de carbono e a mitigação das mudanças climáticas. Muitos trabalhos investigaram a biodiversidade e os serviços

ecossistêmicos. As pesquisas também analisaram práticas agroecológicas, como rotação de culturas, plantio direto, cobertura permanente do solo e sistemas agroflorestais. Alguns estudos avaliaram os impactos econômicos, sociais e produtivos da agricultura regenerativa. Outros trabalhos discutiram fatores associados à adoção dessas práticas e os desafios para sua implementação. O conjunto das publicações demonstrou que a agricultura regenerativa constitui uma abordagem integrada para promover sustentabilidade ambiental, resiliência climática e desenvolvimento rural sustentável (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Brumer *et al.*, 2023).

Os trabalhos demonstraram consenso quanto aos princípios da agricultura regenerativa. As pesquisas destacaram a recuperação da saúde do solo como um dos principais objetivos desse modelo produtivo. Os trabalhos também enfatizaram a conservação da água e da biodiversidade. Diversos estudos apontaram o fortalecimento dos processos ecológicos como elemento central da agricultura regenerativa. As evidências mostraram que a cobertura permanente do solo, a diversificação das culturas e a redução do revolvimento favorecem a sustentabilidade dos agroecossistemas. Os estudos também reconheceram a integração entre produção agrícola e conservação ambiental. Os resultados indicaram que esses princípios aumentam a resiliência dos sistemas produtivos e fortalecem a adaptação às mudanças climáticas. O conjunto das evidências confirmou que a agricultura regenerativa fundamenta-se na recuperação das funções ecológicas dos agroecossistemas e na utilização sustentável dos recursos naturais (Rhodes, 2017; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Os estudos identificaram diferentes práticas agroecológicas empregadas na agricultura regenerativa. A rotação de culturas apareceu entre as estratégias mais frequentes. O plantio direto também apresentou ampla utilização. A cobertura permanente do solo destacou-se como prática recorrente. Diversos estudos avaliaram a adubação verde e a compostagem. As pesquisas também investigaram sistemas agroflorestais e a integração lavoura-pecuária-floresta. Alguns trabalhos analisaram o manejo ecológico de pragas e a diversificação produtiva. As evidências demonstraram que essas práticas atuam de forma complementar. Os resultados indicaram que a integração dessas estratégias melhora a qualidade do solo, aumenta a biodiversidade, favorece a conservação dos recursos naturais e fortalece a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Jat *et al.*, 2019; Storkey *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Apontaram, também, resultados positivos sobre os componentes ambientais dos sistemas agrícolas. A maioria das pesquisas identificou melhorias na saúde do solo. Os trabalhos registraram aumento da matéria orgânica e da atividade biológica. Diversos estudos observaram maior conservação dos recursos hídricos. As pesquisas também verificaram redução dos processos erosivos e aumento da infiltração de água. Muitos estudos identificaram incremento da biodiversidade e fortalecimento dos serviços ecossistêmicos. As evidências ainda demonstraram aumento do sequestro de carbono no solo e redução das emissões de gases de efeito estufa. Os resultados indicaram maior resiliência dos agroecossistemas frente às mudanças climáticas. O conjunto das publicações confirmou que a agricultura regenerativa promove benefícios ambientais consistentes e fortalece a conservação dos

recursos naturais em diferentes sistemas produtivos (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Rakkar; Deiss; Dick, 2025).

Também foram identificaram impactos econômicos, sociais e produtivos associados à agricultura regenerativa. As pesquisas demonstraram redução gradual da dependência de insumos externos. Diversos estudos observaram maior eficiência no uso dos recursos naturais. Os trabalhos também registraram aumento da estabilidade produtiva dos sistemas agrícolas. Algumas pesquisas identificaram redução dos custos de produção em longo prazo. Os estudos ainda evidenciaram fortalecimento da segurança alimentar e do desenvolvimento rural sustentável. Diversos autores destacaram a valorização do conhecimento dos agricultores e o fortalecimento da cooperação entre produtores. As evidências também indicaram maior resiliência econômica e produtiva frente às variações climáticas. O conjunto dos resultados confirmou que a agricultura regenerativa favorece simultaneamente a sustentabilidade econômica, o fortalecimento social das comunidades rurais e a estabilidade da produção agrícola (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Os resultados apresentaram padrões consistentes entre os estudos analisados. A maioria das pesquisas demonstrou benefícios ambientais associados à agricultura regenerativa. Diversos estudos também identificaram impactos positivos sobre a produtividade, a sustentabilidade econômica e o desenvolvimento rural. As evidências mostraram elevada frequência de práticas voltadas à conservação do solo, da água e da biodiversidade. Os trabalhos também registraram resultados favoráveis relacionados ao sequestro de carbono e à resiliência dos sistemas agrícolas. Algumas pesquisas apresentaram diferenças quanto à magnitude dos impactos

observados e ao tempo necessário para sua consolidação. Essas divergências estiveram relacionadas às características dos sistemas produtivos, das condições ambientais e dos métodos utilizados nas investigações. De forma geral, o conjunto das evidências demonstrou convergência quanto ao potencial da agricultura regenerativa para promover sistemas agrícolas mais sustentáveis, resilientes e ambientalmente equilibrados (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

4.2. Discussões

A agricultura regenerativa apresenta benefícios consistentes para os sistemas agrícolas. A maioria dos estudos destacou efeitos positivos sobre os componentes ambientais, econômicos, sociais e produtivos. Essa convergência fortalece a confiabilidade das evidências identificadas. Os resultados também indicaram que a integração entre diferentes práticas agroecológicas potencializa esses benefícios. A recuperação da saúde do solo, a conservação da biodiversidade e o fortalecimento dos serviços ecossistêmicos apareceram como elementos centrais desse processo. Os estudos ainda demonstraram que a sustentabilidade dos agroecossistemas depende da atuação conjunta desses componentes. Dessa forma, as evidências analisadas confirmam que a agricultura regenerativa representa uma abordagem integrada para promover produção agrícola, conservação ambiental e desenvolvimento rural sustentável (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Rhodes, 2017).

Os resultados reforçam que os fundamentos científicos da agricultura regenerativa estão diretamente relacionados aos processos ecológicos dos agroecossistemas. Os estudos demonstraram que a recuperação da saúde do solo constitui o eixo

central desse modelo produtivo. As pesquisas também evidenciaram a importância da conservação da água e da biodiversidade. Esses componentes atuam de forma integrada. Essa integração fortalece o funcionamento dos serviços ecossistêmicos e aumenta a estabilidade dos sistemas agrícolas. Os resultados ainda demonstraram que a agricultura regenerativa compartilha princípios com a agroecologia. Ambos os modelos priorizam a utilização sustentável dos recursos naturais e a valorização das interações ecológicas. Dessa forma, as evidências analisadas indicam que a adoção desses princípios favorece sistemas agrícolas mais resilientes, eficientes e sustentáveis em longo prazo (Rhodes, 2017; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Os impactos ambientais constituem o principal conjunto de benefícios associado à agricultura regenerativa. Os estudos demonstraram melhorias consistentes na qualidade do solo, na conservação da água e na manutenção da biodiversidade. As pesquisas também identificaram aumento do sequestro de carbono e redução das emissões de gases de efeito estufa. Esses resultados indicam que as práticas regenerativas favorecem o funcionamento dos processos ecológicos dos agroecossistemas. A recuperação da matéria orgânica do solo fortalece a fertilidade natural e melhora a retenção de água. A diversificação produtiva amplia os serviços ecossistêmicos e aumenta a estabilidade ambiental. Dessa forma, as evidências analisadas demonstram que a agricultura regenerativa contribui simultaneamente para a conservação dos recursos naturais, para a mitigação das mudanças climáticas e para a construção de sistemas agrícolas ambientalmente mais resilientes (Rahman *et al.*, 2024; Rakkar; Deiss; Dick, 2025; Rosier *et al.*, 2025).

Os resultados também demonstraram efeitos positivos sobre os aspectos econômicos e produtivos dos sistemas regenerativos. Os estudos indicaram redução gradual da dependência de insumos externos. As pesquisas também observaram maior eficiência no uso dos recursos naturais. Esses fatores contribuem para reduzir custos de produção ao longo do tempo. Os trabalhos ainda identificaram maior estabilidade produtiva em diferentes condições ambientais. Essa estabilidade aumenta a capacidade de adaptação dos sistemas agrícolas frente às variações climáticas. Entretanto, alguns estudos ressaltaram que os benefícios econômicos tendem a ocorrer de forma progressiva. Essa característica exige planejamento durante o processo de transição. Dessa forma, as evidências analisadas indicam que a agricultura regenerativa favorece a viabilidade produtiva e econômica das propriedades rurais, especialmente quando as práticas são adotadas de maneira integrada e contínua (Brumer *et al.*, 2023; Wardle *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024).

Os resultados também evidenciaram importantes impactos sociais da agricultura regenerativa. Os estudos demonstraram que esse modelo produtivo fortalece o desenvolvimento rural sustentável. As pesquisas também identificaram contribuições para a segurança alimentar e para a estabilidade dos sistemas de produção. Diversos trabalhos destacaram a valorização do conhecimento local e da participação dos agricultores durante a implementação das práticas regenerativas. Os estudos ainda ressaltaram a importância da cooperação entre produtores, instituições de pesquisa e serviços de extensão rural. Essa integração favorece a difusão do conhecimento técnico e amplia a adoção das práticas agroecológicas. Os resultados indicaram que os benefícios sociais dependem da articulação entre fatores econômicos, ambientais e institucionais. Dessa forma, as evidências analisadas demonstram que a agricultura regenerativa

ultrapassa os objetivos produtivos e contribui para fortalecer comunidades rurais mais resilientes, participativas e comprometidas com a sustentabilidade (Brumer *et al.*, 2023; Ramirez-Santos *et al.*, 2023; Souissi *et al.*, 2024).

Os resultados também evidenciaram diferenças entre os estudos analisados. As pesquisas utilizaram distintos delineamentos metodológicos. Os trabalhos também adotaram diferentes indicadores para avaliar os impactos da agricultura regenerativa. Essa diversidade dificultou comparações diretas entre algumas investigações. Os estudos ainda apresentaram diferenças relacionadas às condições climáticas, aos tipos de solo e aos sistemas produtivos avaliados. Essas características influenciaram a magnitude dos resultados observados. A literatura também destacou limitações relacionadas ao reduzido número de estudos de longo prazo e à ausência de padronização conceitual sobre agricultura regenerativa. Essas limitações não comprometem as evidências identificadas. Entretanto, elas indicam a necessidade de ampliar pesquisas com metodologias padronizadas e avaliações de maior duração. Esse avanço poderá fortalecer a consistência das evidências científicas e ampliar a compreensão sobre os efeitos da agricultura regenerativa em diferentes contextos agrícolas (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

As evidências reforçam a necessidade de ampliar pesquisas sobre agricultura regenerativa em diferentes contextos agrícolas. Os estudos também demonstram a importância de desenvolver protocolos metodológicos mais padronizados. Esse avanço poderá aumentar a comparabilidade entre futuras investigações. As evidências também oferecem subsídios para produtores rurais, extensionistas e formuladores de políticas públicas. Os resultados

indicam que a adoção integrada das práticas regenerativas favorece a conservação dos recursos naturais e fortalece a sustentabilidade da produção agrícola. Os estudos ainda evidenciam a importância de investimentos em assistência técnica, pesquisa científica e programas de incentivo à transição agroecológica. Dessa forma, os resultados desta revisão podem orientar decisões técnicas e institucionais voltadas ao fortalecimento da agricultura regenerativa como estratégia para promover desenvolvimento rural sustentável, segurança alimentar e adaptação às mudanças climáticas (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Os resultados desta revisão respondem ao objetivo proposto pelo estudo. As evidências demonstram que a agricultura regenerativa reúne fundamentos científicos consistentes e práticas capazes de promover benefícios ambientais, econômicos, sociais e produtivos. Os estudos também indicam que a integração dessas práticas fortalece a sustentabilidade dos agroecossistemas. As pesquisas destacam a recuperação da saúde do solo, a conservação dos recursos naturais e o aumento da resiliência climática como resultados recorrentes. A literatura também evidencia desafios relacionados à adoção em larga escala, à padronização metodológica e à ampliação das pesquisas de longo prazo. Esses aspectos indicam oportunidades para o avanço do conhecimento científico. De forma geral, as evidências analisadas confirmam que a agricultura regenerativa representa uma estratégia promissora para conciliar produção agrícola, conservação ambiental e desenvolvimento rural sustentável. Essa síntese fornece a base para as considerações apresentadas na seção de conclusão do presente estudo (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo atingiu o objetivo proposto. A revisão integrativa reuniu e sintetizou as principais evidências científicas sobre a agricultura regenerativa. A análise permitiu compreender os fundamentos, as práticas, os impactos e os desafios desse modelo de produção agrícola. Os resultados demonstraram que a agricultura regenerativa integra estratégias voltadas à conservação dos recursos naturais e à sustentabilidade dos agroecossistemas. A revisão também evidenciou o potencial desse modelo para fortalecer a resiliência climática, a segurança alimentar e o desenvolvimento rural sustentável. Dessa forma, as evidências analisadas confirmam a relevância científica e prática da agricultura regenerativa como alternativa para enfrentar os desafios ambientais, produtivos e sociais da agricultura contemporânea (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

Os resultados da revisão demonstraram benefícios consistentes associados à agricultura regenerativa. As evidências indicaram melhorias na saúde do solo, na conservação da água e na manutenção da biodiversidade. Os estudos também identificaram aumento do sequestro de carbono e fortalecimento dos serviços ecossistêmicos. As pesquisas evidenciaram maior resiliência dos sistemas agrícolas frente às mudanças climáticas. Os trabalhos ainda destacaram contribuições para a sustentabilidade econômica, para a segurança alimentar e para o desenvolvimento rural sustentável. As evidências também demonstraram que a integração de práticas agroecológicas potencializa esses resultados. De forma geral, os estudos analisados apresentaram convergência quanto ao potencial da agricultura regenerativa para promover sistemas produtivos mais eficientes, resilientes e ambientalmente sustentáveis (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Brumer *et al.*, 2023).

A presente revisão oferece contribuições relevantes para o conhecimento científico sobre agricultura regenerativa. A pesquisa reuniu evidências provenientes de diferentes estudos e contextos agrícolas. Essa integração permitiu ampliar a compreensão sobre os princípios, as práticas e os impactos desse modelo produtivo. Os resultados também evidenciaram convergências importantes entre as publicações analisadas. As evidências reforçaram a relação entre agricultura regenerativa, conservação ambiental e sustentabilidade dos agroecossistemas. A revisão ainda identificou desafios e lacunas que podem orientar futuras investigações. Dessa forma, este estudo contribui para fortalecer a base científica da agricultura regenerativa e fornece informações que podem subsidiar pesquisadores, profissionais da extensão rural e formuladores de políticas públicas na promoção de sistemas agrícolas mais sustentáveis (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

A presente revisão apresenta limitações inerentes ao método empregado. Os resultados dependem da qualidade metodológica dos estudos incluídos. As evidências também refletem as características das bases de dados consultadas e dos critérios de seleção adotados. A literatura analisada apresentou diferenças conceituais e metodológicas entre as pesquisas. Alguns estudos utilizaram distintos indicadores para avaliar os impactos da agricultura regenerativa. Essa heterogeneidade dificultou comparações diretas entre determinados resultados. A revisão também identificou escassez de estudos de longo prazo e ausência de padronização em algumas abordagens metodológicas. Essas limitações não reduzem a relevância das evidências sintetizadas. Entretanto, elas indicam a necessidade de ampliar a produção científica para fortalecer o conhecimento sobre a agricultura

regenerativa e seus efeitos em diferentes contextos agrícolas (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

As evidências desta revisão indicam importantes oportunidades para futuras pesquisas. Novos estudos devem ampliar as avaliações de longo prazo sobre a agricultura regenerativa. As pesquisas também devem utilizar metodologias mais padronizadas. Essa padronização facilitará a comparação entre diferentes investigações. Estudos futuros devem contemplar distintos sistemas produtivos, condições climáticas e regiões geográficas. As pesquisas também devem integrar indicadores ambientais, econômicos, sociais e produtivos em uma mesma abordagem. Essa integração permitirá compreender de forma mais ampla os efeitos da agricultura regenerativa. O avanço dessas investigações fortalecerá as evidências científicas disponíveis e contribuirá para aperfeiçoar estratégias voltadas à sustentabilidade dos sistemas agrícolas e ao desenvolvimento rural sustentável (Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025; Opatski, 2025).

A agricultura regenerativa representa uma estratégia promissora para promover sistemas agrícolas mais sustentáveis. As evidências desta revisão demonstraram benefícios ambientais, econômicos, sociais e produtivos associados à adoção de práticas regenerativas. Os resultados também indicaram que a consolidação desse modelo depende da integração entre pesquisa científica, políticas públicas, assistência técnica e produtores rurais. Essa articulação favorece a difusão do conhecimento e amplia a adoção de práticas conservacionistas. O fortalecimento dessas iniciativas poderá contribuir para a recuperação dos recursos naturais, para a mitigação das mudanças climáticas e para o desenvolvimento rural sustentável. Dessa forma, a agricultura regenerativa apresenta

potencial para desempenhar papel estratégico na construção de sistemas alimentares mais resilientes e compatíveis com os desafios ambientais e sociais contemporâneos (Brumer *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024; Rosier *et al.*, 2025).

Este estudo reforça a importância da agricultura regenerativa para o futuro da produção agrícola sustentável. As evidências analisadas demonstram que esse modelo integra produtividade e conservação ambiental. As práticas regenerativas fortalecem a saúde do solo, preservam os recursos naturais e aumentam a resiliência dos agroecossistemas. Esses benefícios contribuem para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente demanda por alimentos. A ampliação do conhecimento científico favorecerá o aperfeiçoamento dessas práticas. O fortalecimento das políticas públicas incentivará sua adoção em maior escala. A participação dos produtores rurais impulsionará a consolidação desse modelo de produção. Assim, a agricultura regenerativa apresenta potencial para promover sistemas agrícolas mais sustentáveis, resilientes e capazes de atender às necessidades das gerações atuais e futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdulkareem, E. H., Al-Meani, S. A. L., Ahmed, M. M., Abdulkareem, A. H., Al-Janaby, M. S., Awad, S. A., Ezzat, M. O., Abduljaleel, S. S., & Khaleel, Z. M. (2026). Integrative analysis of ENAM rs3796704 polymorphism and eugenol–cinnamic acid docking/ADMET against biofilm-forming *Streptococcus mutans*: Genetic–phytochemical links to oral dysbiosis. *Dentistry Journal*, 14(6), 360. <https://doi.org/10.3390/dj14060360>.

Brumer, A., Wezel, A., Dauber, J., Breland, T. A., & Grard, B. (2023). Development of agroecology in Austria and Germany. *Open Research Europe*, 3, 25. <https://doi.org/10.12688/openreseurope.15431.1>.

Çakmakçi, R., Çakmakçi, S., & Çakmakçi, M. F. (2025). Principles of environmentally sustainable agriculture for building resilient and resource-efficient food systems. *Turkish Journal of Biology*, 49(5), 550–584. <https://doi.org/10.55730/1300-0152.2764>.

Clay, N., & Zimmerer, K. S. (2020). Who is resilient in Africa's green revolution? Sustainable intensification and climate smart agriculture in Rwanda. *Land Use Policy*, 97, 104558. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104558>.

Davis, K. F., Chhatre, A., Rao, N. D., Singh, D., Ghosh-Jerath, S., Mridul, A., Poblete-Cazenave, M., Pradhan, N., & DeFries, R. (2019). Assessing the sustainability of post-green revolution cereals in India. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(50), 25034–25041. <https://doi.org/10.1073/pnas.1910935116>.

Dioha, M. O., & Kumar, A. (2020). Exploring greenhouse gas mitigation strategies for agriculture in Africa: the case of Nigeria. *Ambio*, 49(9), 1549–1566. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01293-9>.

Dittmer, K. M., Rose, S., Snapp, S. S., Kebede, Y., Brickman, S., Shelton, S., Egler, C., Stier, M., & Wollenberg, E. (2023). Agroecology can promote climate change adaptation outcomes without compromising yield in smallholder systems. *Environmental Management*, 72(2), 333–342. <https://doi.org/10.1007/s00267-023-01816-x>.

Duddigan, S., Shaw, L. J., Sizmur, T., Gogu, D., Hussain, Z., Jirra, K., Kaliki, H., Sanka, R., Sohail, M., Soma, R., Thallam, V., Vattikuti, H., & Collins, C. D. (2023). Natural farming improves crop yield in SE India when compared to conventional or organic systems by enhancing soil quality. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(2), 31. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00884-x>.

Gashure, S. (2024). Adaptation strategies of smallholder farmers to climate variability and change in Konso, Ethiopia. *Scientific Reports*, 14(1), 19203. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70047-9>.

Gashure, S. (2025). Impacts of climate variability and adaptation strategies on staple crop productivity in Sidama, Ethiopia. *Scientific Reports*, 15(1), 27461. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-11880-4>.

Gebbru, G. W., Ichoku, H. E., & Phil-Eze, P. O. (2020). Determinants of smallholder farmers' adoption of adaptation strategies to climate change in Eastern Tigray National Regional State of Ethiopia. *Heliyon*, 6(7), e04356. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04356>.

Gora, M. K., Kumar, S., Jat, H. S., Kakraliya, S. K., Choudhary, M., Dhaka, A. K., Jat, R. D., Kakraliya, M., Sharma, P. C., & Jat, M. L. (2022). Scalable diversification options delivers sustainable and nutritious food in Indo-Gangetic plains. *Scientific Reports*, 12(1), 14371. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18156-1>.

Hamidov, A., Helming, K., Bellocchi, G., Bojar, W., Dalgaard, T., Ghaley, B. B., Hoffmann, C., Holman, I., Holzkämper, A., Krzeminska, D., Kværnø, S. H., Lehtonen, H., Niedrist, G., Øygarden, L., Reidsma, P., Roggero, P. P., Rusu, T., Santos, C., Seddaiu, G., Skarbøvik, E., Ventrella, D., Żarski, J., Schönhart, M. (2018). Impacts of climate change adaptation options on soil functions: a review of European case-

studies. *Land Degradation & Development*, 29(8), 2378–2389. <https://doi.org/10.1002/ldr.3006>.

Hao, C., Dungait, J. A. J., Shang, W., Hou, R., Gong, H., Yang, Y., Lambers, H., Yu, P., Delgado-Baquerizo, M., Xu, X., Kumar, A., Deng, Y., Peng, X., Cui, Z., Kuzyakov, Y., Zhou, J., Zhang, F., & Tian, J. (2025). Conservation agriculture raises crop nitrogen acquisition by amplifying plant-microbe synergy under climate warming. *Nature Communications*, 16(1), 11067. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-65999-z>.

Jat, H. S., Datta, A., Choudhary, M., Yadav, A. K., Choudhary, V., Sharma, P. C., Gathala, M. K., Jat, M. L., & McDonald, A. (2019). Effects of tillage, crop establishment and diversification on soil organic carbon, aggregation, aggregate associated carbon and productivity in cereal systems of semi-arid Northwest India. *Soil and Tillage Research*, 190, 128–138. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.03.005>.

Kantoğlu, B., Çabaş, M., Erdem, A., Pilatin, A., Barut, A., & Radulescu, M. (2025). Impacts of agritech on sustainable agriculture in Sub-Saharan Africa: a quantile regression approach towards SDG 2.4. *Carbon Balance and Management*, 20(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s13021-025-00313-4>.

Kc, K. B., Tzadok, E., & Pant, L. (2022). Himalayan ecosystem services and climate change driven agricultural frontiers: a scoping review. *Discover Sustainability*, 3(1), 35. <https://doi.org/10.1007/s43621-022-00103-9>.

Kliem, L. (2022). Strengthening agroecological resilience through commons-based seed governance in the Philippines. *Environment*,

Development and Sustainability, 26(2), 5367–5399.
<https://doi.org/10.1007/s10668-022-02844-z>.

Krause, H.-M., Mäder, P., Fliessbach, A., Jarosch, K. A., Oberson, A., & Mayer, J. (2024). Organic cropping systems balance environmental impacts and agricultural production. *Scientific Reports*, 14(1), 25537.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-76776-1>.

Lopez-Ridaura, S., Frelat, R., Van Wijk, M. T., Valbuena, D., Krupnik, T. J., & Jat, M. L. (2018). Climate smart agriculture, farm household typologies and food security: an ex-ante assessment from Eastern India. *Agricultural Systems*, 159, 57–68.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.09.007>.

Loring, P. A. (2022). Regenerative food systems and the conservation of change. *Agriculture and Human Values*, 39(2), 701–713.
<https://doi.org/10.1007/s10460-021-10282-2>.

Majumder, M. K., Rahman, M., Mondal, R. K., & Akter, M. (2024). Climate-smart agriculture and food security in climate-vulnerable coastal areas of Bangladesh. *Heliyon*, 10(22), e39885.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39885>.

Mavesere, F., & Dzawanda, B. (2022). Effectiveness of *Pfumvudza* as a resilient strategy against drought impacts in rural communities of Zimbabwe. *GeoJournal*, 88(3), 3455–3470.
<https://doi.org/10.1007/s10708-022-10812-3>.

Michler, J. D., Baylis, K., Arends-Kuenning, M., & Mazvimavi, K. (2019). Conservation agriculture and climate resilience. *Journal of Environmental Economics and Management*, 93, 148–169.
<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.11.008>.

Mihrete, T. B., & Mihretu, F. B. (2025). Crop diversification for ensuring sustainable agriculture, risk management and food security. *Global Challenges*, 9(2), 2400267. <https://doi.org/10.1002/gch2.202400267>.

Mthethwa, K. N., Ngidi, M. S. C., Ojo, T. O., & Hlatshwayo, S. I. (2022). The determinants of adoption and intensity of climate-smart agricultural practices among smallholder maize farmers. *Sustainability*, 14(24), 16926. <https://doi.org/10.3390/su142416926>.

Mulungu, K., & Kangogo, D. (2022). Striving to be resilient: the role of crop-poultry integrated system as a climate change adaptation strategy in semiarid eastern Kenya. *Heliyon*, 8(11), e11579. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11579>.

Mulungu, K., Abro, Z., Niassy, S., Muriithi, B., Picthar, J., Kidoido, M., Subramanian, S., Mohamed, S., Khan, Z., Hailu, G., & Kassie, M. (2024). The economic, social, and environmental impact of ecologically centered integrated pest management practices in East Africa. *Journal of Environmental Management*, 371, 123241. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123241>.

Musafiri, C. M., Kiboi, M., Macharia, J., Ng'etich, O. K., Kosgei, D. K., Mulianga, B., Okoti, M., & Ngetich, F. K. (2022). Adoption of climate-smart agricultural practices among smallholder farmers in Western Kenya: do socioeconomic, institutional, and biophysical factors matter? *Heliyon*, 8(1), e08677. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08677>.

Newton, A. C., Creissen, H. E., Erreguerena, I. A., & Havis, N. D. (2024). Disease management in regenerative cropping in the context of climate change and regulatory restrictions. *Annual Review of*

Phytopathology, 62(1), 337–356. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-121423-042037>.

Ng'ang'a, S. K., Miller, V., & Girvetz, E. (2021). Is investment in Climate-Smart-agricultural practices the option for the future? Cost and benefit analysis evidence from Ghana. *Heliyon*, 7(4), e06653. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06653>.

Noor Azmi, N. S., Ng, Y. M., Masud, M. M., & Cheng, A. (2024). Knowledge, attitudes, and perceptions of farmers towards urban agroecology in Malaysia. *Heliyon*, 10(12), e33365. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33365>.

Nthebere, K., Tata, R. P., Gudapati, J., Bhimireddy, P., Admala, M., Chandran, L. P., & Yadav, M. B. N. (2025). Assessment of conservation agriculture on soil nutrient's stratification ratio, carbon sequestration rate, management indices and crop productivity in Southern Telangana India. *Scientific Reports*, 15(1), 15038. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00177-1>.

Nyang'au, J. O., Mohamed, J. H., Mango, N., Makate, C., & Wangeci, A. N. (2021). Smallholder farmers' perception of climate change and adoption of climate smart agriculture practices in Masaba South Sub-county, Kisii, Kenya. *Heliyon*, 7(4), e06789. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06789>.

Ogut, S., Mockshell, J., Minh, T., & Remans, R. (2025). A scoping review of the incentives for promoting the adoption of agroecological practices and outcomes among rice farmers in Vietnam. *PLOS One*, 20(4), e0321029. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0321029>.

Opatski, M. S. A. (2025). Agricultura regenerativa: caminhos para a sustentabilidade no século XXI. Em *Explorando o futuro verde: pesquisa e inovação nas ciências agrárias e biológicas* (p. 25–33). Aurum Editora Ltda. <https://doi.org/10.63330/aurumpub.004-003>.

Pabst, H., Lang, J., & Sterly, S. (2026). Navigating Europe's agricultural transition: systemic policy approaches to mixed farming and agroforestry. *Open Research Europe*, 5, 142. <https://doi.org/10.12688/openreseurope.20398.2>.

Patel, M., Islam, S., Glick, B. R., Vimal, S. R., Bhor, S. A., Bernardi, M., Johora, F. T., Patel, A., & De Los Santos Villalobos, S. (2024). Elaborating the multifarious role of PGPB for sustainable food security under changing climate conditions. *Microbiological Research*, 289, 127895. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127895>.

Paul, B. K., Groot, J. C., Maass, B. L., Notenbaert, A. M., Herrero, M., & Tiftonell, P. A. (2020). Improved feeding and forages at a crossroads: farming systems approaches for sustainable livestock development in East Africa. *Outlook on Agriculture*, 49(1), 13–20. <https://doi.org/10.1177/0030727020906170>.

Pe'er, G., Bonn, A., Bruelheide, H., Dieker, P., Eisenhauer, N., Feindt, P. H., Hagedorn, G., Hansjürgens, B., Herzon, I., Lomba, Â., Marquard, E., Moreira, F., Nitsch, H., Oppermann, R., Perino, A., Röder, N., Schleyer, C., Schindler, S., Wolf, C., Zinngrebe, Y., & Lakner, S. (2020). Action needed for the EU Common Agricultural Policy to address sustainability challenges. *People and Nature*, 2(2), 305–316. <https://doi.org/10.1002/pan3.10080>.

Perrin, A., & Martin, G. (2021). Resilience of French organic dairy cattle farms and supply chains to the Covid-19 pandemic. *Agricultural*

Systems, 190, 103082. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2021.103082>.

Popoola, J. O., Aworunse, O. S., Ojuederie, O. B., Adewale, B. D., Ajani, O. C., Oyatomi, O. A., Eruemulor, D. I., Adegboyega, T. T., & Obembe, O. O. (2022). The exploitation of orphan legumes for food, income, and nutrition security in Sub-Saharan Africa. *Frontiers in Plant Science*, 13, 782140. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.782140>.

Rahman, M. S., Wu, O. Y., Battaglia, K., Blackstone, N. T., Economos, C. D., & Mozaffarian, D. (2024). Integrating food is medicine and regenerative agriculture for planetary health. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1508530. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1508530>.

Rakkar, M., Deiss, L., & Dick, W. A. (2025). Soil carbon storage or sustainable conservation agriculture practices - which should be our goal? *Journal of Environmental Quality*, 54(6), 1586–1597. <https://doi.org/10.1002/jeq2.70073>.

Ramirez-Santos, A. G., Ravera, F., Rivera-Ferre, M. G., & Calvet-Nogués, M. (2023). Gendered traditional agroecological knowledge in agri-food systems: a systematic review. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 19(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s13002-023-00576-6>.

Rhodes, C. J. (2017). The imperative for regenerative agriculture. *Science Progress*, 100(1), 80–129. <https://doi.org/10.3184/003685017X14876775256165>.

Röös, E., Mayer, A., Muller, A., Kalt, G., Ferguson, S., Erb, K.-H., Hart, R., Matej, S., Kaufmann, L., Pfeifer, C., Frehner, A., Smith, P., & Schwarz, G. (2022). Agroecological practices in combination with healthy diets can help meet EU food system policy targets. *Science of The Total*

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157612>.

Rosier, C. L., Knecht, A., Steinmetz, J. S., Weckle, A., Bloedorn, K., & Meyer, E. (2025). From soil to health: advancing regenerative agriculture for improved food quality and nutrition security. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1638507. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1638507>.

Sambell, R., Andrew, L., Godrich, S., Wolfgang, J., Vandenbroeck, D., Stubley, K., Rose, N., Newman, L., Horwitz, P., & Devine, A. (2019). Local challenges and successes associated with transitioning to sustainable food system practices for a West Australian context: multi-sector stakeholder perceptions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(11), 2051. <https://doi.org/10.3390/ijerph16112051>.

Saran, A., Singh, S., Gupta, N., Walke, S. C., Rao, R., Simiyu, C., Malhotra, S., Mishra, A., Puskur, R., Masset, E., White, H., & Waddington, H. S. (2024). Interventions promoting resilience through climate smart agricultural practices for women farmers: a systematic review. *Campbell Systematic Reviews*, 20(3), e1426. <https://doi.org/10.1002/cl2.1426>.

Seppelt, R., Klotz, S., Peiter, E., & Volk, M. (2022). Agriculture and food security under a changing climate: an underestimated challenge. *iScience*, 25(12), 105551. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105551>.

Shakoor, A., Pendall, E., Arif, M. S., Farooq, T. H., Iqbal, S., & Shahzad, S. M. (2024). Does no-till crop management mitigate gaseous emissions and reduce yield disparities: an empirical US-China evaluation. *Science of The Total Environment*, 917, 170310. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170310>.

Smith, L. G., Kirk, G. J. D., Jones, P. J., & Williams, A. G. (2019). The greenhouse gas impacts of converting food production in England and Wales to organic methods. *Nature Communications*, *10*(1), 4641. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12622-7>.

Sohail, M. T., & Chen, S. (2022). A systematic PLS-SEM approach on assessment of indigenous knowledge in adapting to floods; a way forward to sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 990785. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.990785>.

Souissi, A., Dhehibi, B., Oumer, A. M., Mejri, R., Frija, A., Zlaoui, M., & Dhraief, M. Z. (2024). Linking farmers' perceptions and management decision toward sustainable agroecological transition: evidence from rural Tunisia. *Frontiers in Nutrition*, *11*, 1389007. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1389007>.

Storkey, J., Maclaren, C., Bullock, J. M., Norton, L. R., Redhead, J. W., & Pywell, R. F. (2024). Quantifying farm sustainability through the lens of ecological theory. *Biological Reviews*, *99*(5), 1700–1716. <https://doi.org/10.1111/brv.13088>.

Teng, J., Hou, R., Dungait, J. A. J., Zhou, G., Kuzyakov, Y., Zhang, J., Tian, J., Cui, Z., Zhang, F., & Delgado-Baquerizo, M. (2024). Conservation agriculture improves soil health and sustains crop yields after long-term warming. *Nature Communications*, *15*(1), 8785. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53169-6>.

Tilahun, G., Bantider, A., & Yayeh, D. (2023). Impact of adoption of climate-smart agriculture on food security in the tropical moist montane ecosystem: the case of Geshy watershed, Southwest Ethiopia. *Heliyon*, *9*(12), e22620. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22620>.

Tilahun, G., Bantider, A., & Yayeh, D. (2025). Empirical and methodological foundations on the impact of climate-smart agriculture on food security studies: review. *Heliyon*, 11(1), e41242. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41242>

Van Selm, B., Hijbeek, R., Van Ittersum, M. K., Van Hal, O., Van Middelaar, C. E., & De Boer, I. J. M. (2023). Recoupling livestock and feed production in the Netherlands to reduce environmental impacts. *Science of The Total Environment*, 899, 165540. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165540>.

Wardle, J., Sorathia, A., Smith, P., & Feliciano, D. (2024). Environmental, social and economic perceptions of local food production: a case study of Aberdeenshire farmers' markets. *Scottish Geographical Journal*, 140(1–2), 233–247. <https://doi.org/10.1080/14702541.2023.2242834>.

Williams, N. E., & Carrico, A. (2017). Examining adaptations to water stress among farming households in Sri Lanka's dry zone. *Ambio*, 46(5), 532–542. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0904-z>.

X Belay, A., Mirzabaev, A., Recha, J. W., Oludhe, C., Osano, P. M., Berhane, Z., Olaka, L. A., Tegegne, Y. T., Demissie, T., Mutsami, C., & Solomon, D. (2023). Does climate-smart agriculture improve household income and food security? Evidence from Southern Ethiopia. *Environment, Development and Sustainability*, 26(7), 16711–16738. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03307-9>.

Xu, X., Xu, Y., Li, J., Lu, Y., Jenkins, A., Ferrier, R. C., Li, H., Stenseth, N. C., Hessen, D. O., Zhang, L., Li, C., Gu, B., Jin, S., Sun, M., Ouyang, Z., & Mathijs, E. (2023). Coupling of crop and livestock production can

reduce the agricultural GHG emission from smallholder farms. *iScience*, 26(6), 106798. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106798>.

Yang, C., Zhang, Y., Xue, Y., & Xue, Y. (2022). Toward a socio-political approach to promote the development of circular agriculture: a critical review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 13117. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013117>.

¹ Discente no curso de nível superior em Agronomia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília.

² Discente no curso de nível superior em Agronomia pela Universidade de Brasília.

³ Discente no curso de nível superior em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos.

⁴ Discente no curso de nível superior em Engenharia de Pesca pela Universidade Federal do Maranhão

⁵ Discente no curso de nível superior em Medicina Veterinária pela Universidade Vale do Rio Doce.

⁶ Discente no curso de nível superior em Medicina Veterinária pela Universidade Católica de Brasília.

⁷ Discente no curso de nível superior em Zootecnia pela Universidade Federal do Pampa.

⁸ Especialista em Mediação Pedagógica no contexto do Decreto 12.456/2025 pela Faculdade Metropolitana do Estado de São Paulo.

⁹ Especialista em Comércio Exterior pela Faculdade de Minas.

¹⁰ Especialista em Gestão Estratégica da Pecuária de Corte pela
Faculdade de Gestão e Inovação.

¹¹ Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Agronegócios pela
Universidade de Brasília.

¹² Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências
Genômicas e Biotecnologia pela Universidade Católica de Brasília.

¹³ Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia pela
Universidade de Brasília.

¹⁴ Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pela
Universidade Federal da Grande Dourados.

¹⁵ Mestre em Administração pela Universidade Positivo.

¹⁶ Mestre em Agronegócios pela Universidade de Brasília.

¹⁷ Mestre em Biologia Animal pela Universidade de Brasília.

¹⁸ Mestre em Ciências do Ambiente pela Universidade Positivo.

¹⁹ Doutora em Ciências Veterinárias pela Universidade Federal de
Uberlândia.