

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE GOIÁS – UNIGOIÁS
PRÓ-REITORIA DE ENSINO PRESENCIAL – PROEP
SUPERVISÃO DA ÁREA DE PESQUISA CIENTÍFICA - SAPC
CURSO DE AGRONOMIA

**AGRICULTURA DIGITAL COMO FERRAMENTA ESTRATÉGICA PARA
GESTÃO AMBIENTAL EM PROPRIEDADES RURAIS**

ALUNA: ERYKA AVELINY SOARES CABRAL
ORIENTADOR: JOÃO ANTÔNIO GONÇALVES E SILVA

GOIÂNIA
JUNHO/2026

ERYKA AVELINY SOARES CABRAL

**AGRICULTURA DIGITAL COMO FERRAMENTA ESTRATÉGICA PARA A
GESTÃO AMBIENTAL EM PROPRIEDADES RURAIS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de agronomia do
Centro Universitário de Goiás -
UNIGOIÁS, como requisito parcial
para obtenção do título de Bacharel
em Agronomia.

ORIENTADOR: JOÃO ANTÔNIO GONÇALVES E SILVA

GOIÂNIA
JUNHO/2026

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo desta jornada.

À minha mãe, Cleide, e ao meu irmão, Eduardo, por todo amor, apoio e incentivo. Vocês sempre foram minha maior motivação para seguir em frente e buscar meus objetivos.

Ao meu primo Matheus, pela amizade, apoio e presença em diferentes momentos desta caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Antônio Gonçalves e Silva, pelas orientações, ensinamentos e contribuições fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos professores do curso de Agronomia, pelos conhecimentos compartilhados ao longo da graduação, que contribuíram para minha formação acadêmica e profissional.

À minha segunda família da UniAgro, Adrielle, Noara, Samuel e Roberto Antônio, que tornaram minha trajetória em Goiânia mais leve e acolhedora. Estando longe da minha família, encontrei em vocês apoio, amizade, companheirismo e o acolhimento necessário para seguir firme em meus objetivos. Levarei com carinho tudo o que vivemos e aprendemos juntos.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para esta conquista.

A conclusão desta etapa representa a realização de um sonho e marca o encerramento de uma importante fase da minha vida acadêmica e profissional.

RESUMO

O presente estudo analisa a Agricultura Digital como ferramenta estratégica para a gestão ambiental em propriedades rurais, com foco na sustentabilidade ambiental no setor agropecuário. O objetivo é compreender a contribuição de tecnologias como Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Big Data, sensoriamento remoto, drones e sistemas de rastreabilidade para o uso racional dos recursos naturais e a redução de impactos ambientais. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, de natureza aplicada, com objetivos exploratórios e descritivos, desenvolvida por meio de revisão bibliográfica baseada em publicações científicas recentes. Os resultados indicam que a digitalização do campo amplia a capacidade de monitoramento do solo, da água e das operações produtivas, promovendo maior precisão na aplicação de insumos e melhoria na rastreabilidade. Também são identificados desafios relacionados à conectividade rural, aos custos de implementação, à capacitação técnica e à governança de dados. Conclui-se que a Agricultura Digital apresenta potencial significativo para fortalecer a gestão ambiental nas propriedades rurais, especialmente quando associada a planejamento estratégico e políticas públicas de incentivo.

Palavras-chave: tecnologias digitais; sustentabilidade rural; inovação no agronegócio; monitoramento ambiental; agricultura 4.0.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1	Evolução da Agricultura: da Produção Tradicional à Agricultura 4.0	7
2.2	Tecnologias Habilitadoras da Agricultura Digital	9
2.2.1	Internet das Coisas (IoT) na Agricultura	9
2.2.2	Inteligência Artificial (IA) na Agricultura	10
2.2.3	Big Data na Agricultura	12
2.2.4	Drones e Sensoriamento Remoto na Agricultura	13
2.2.5	Blockchain e Rastreabilidade na Cadeia Agroindustrial	14
3	GESTÃO AMBIENTAL EM PROPRIEDADES RURAIS	16
3.1	Conceitos de Gestão Ambiental	16
3.2	Sustentabilidade no Meio Rural	18
3.3	Legislação Ambiental Aplicada ao Setor Agropecuário	19
3.4	Indicadores Ambientais na Propriedade Rural	21
3.5	Gestão Ambiental como Elemento Estruturante da Competitividade Rural	22
4	METODOLOGIA	23
4.1	Limitações da Pesquisa	24
5	AGRICULTURA DIGITAL COMO FERRAMENTA ESTRATÉGICA PARA A GESTÃO AMBIENTAL	24
5.1	Aplicações Tecnológicas na Gestão Ambiental	24
5.2	Monitoramento de Recursos Naturais	25
5.3	Redução de Impactos Ambientais	26
5.4	Benefícios e Limitações	28
5.5	Desafios e Perspectivas Futuras	29
6	CONCLUSÕES	31
	REFERÊNCIAS	32
	Declaração de Uso de Inteligência Artificial	33

1 INTRODUÇÃO

A agricultura sempre desempenhou um papel essencial na formação das sociedades, sendo responsável pela produção de alimentos, geração de renda e desenvolvimento econômico. Ao longo do tempo, o setor passou por diversas transformações, desde práticas mais tradicionais, baseadas no trabalho manual, até a mecanização e a chamada Revolução Verde, que introduziu o uso intensivo de insumos e tecnologias para ampliar a produção. Atualmente, observa-se uma nova fase nesse processo evolutivo, marcada pela inserção de tecnologias digitais no campo, fenômeno conhecido como Agricultura Digital ou Agricultura 4.0 (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

A Agricultura 4.0 é resultado da convergência entre o setor agropecuário e as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs). Essa nova fase integra ferramentas como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Big Data, sensoriamento remoto, drones e sistemas de gestão agrícola (PISTORI; MOLLO NETO, 2024). Essa fase se destaca das anteriores por colocar os dados no centro do processo decisório, o que possibilita o acompanhamento em tempo real das condições do solo, do clima e do desenvolvimento das culturas.

Essa mudança ganha ainda mais importância no contexto brasileiro. O Brasil se destaca na produção global de grãos, carnes e fibras, com o agronegócio desempenhando um papel fundamental no Produto Interno Bruto (PIB) do país e no saldo positivo da balança comercial. No entanto, o aumento da produção agrícola traz desafios relacionados à conservação dos recursos naturais, à proteção ambiental e ao uso eficiente de insumos. Nesse contexto, a Agricultura Digital surge como uma alternativa estratégica para equilibrar produtividade e sustentabilidade (BOLFE *et al.*, 2020).

A utilização de sensores e sistemas inteligentes possibilita uma aplicação mais precisa de fertilizantes, defensivos e água, diminuindo o desperdício e os efeitos nocivos ao meio ambiente (CLERCQ; VATS; BEL, 2018). Além disso, a digitalização da cadeia produtiva permite maior rastreabilidade, transparência e controle das fases de produção e distribuição, contribuindo para a redução de perdas e aumento da eficiência operacional (KELLERMANN *et al.*, 2021).

No entanto, embora a digitalização no campo traga benefícios, sua implementação ainda enfrenta obstáculos significativos, principalmente no que diz respeito à infraestrutura de conectividade rural, custos de investimento e formação técnica dos produtores (CEPAL,

2021). Além disso, é preciso analisar criticamente os possíveis efeitos indiretos da digitalização, como o consumo de energia das infraestruturas tecnológicas e a produção de resíduos eletrônicos (SANTOS, 2024).

Considerando essas mudanças e desafios, torna-se importante investigar como a Agricultura Digital pode atuar como uma ferramenta estratégica para a gestão ambiental em áreas rurais. Assim, a pergunta que orienta esta pesquisa é: de que maneira as tecnologias digitais utilizadas na agricultura podem contribuir para a implementação de práticas de gestão ambiental mais eficazes e sustentáveis, sem aumentar as desigualdades ou gerar novos problemas ambientais?

A importância deste estudo está relacionada à necessidade de ampliar a discussão sobre a relação entre inovação tecnológica e sustentabilidade no setor agropecuário, especialmente considerando o papel estratégico do Brasil na produção global de alimentos. Compreender os potenciais e as limitações da Agricultura Digital contribui para o desenvolvimento de modelos de produção mais sustentáveis, capazes de atender às demandas econômicas sem comprometer os recursos naturais (BOLFE *et al.* 2020).

Dessa forma, o objetivo principal deste estudo é analisar de que maneira a Agricultura Digital pode contribuir, de forma estratégica, para a gestão ambiental em áreas rurais. Como objetivos específicos, busca-se: (a) apresentar os conceitos e tecnologias fundamentais da Agricultura Digital; (b) discutir sua relação com a sustentabilidade ambiental; (c) identificar os principais desafios para sua implementação no Brasil; e (d) avaliar seus efeitos positivos e possíveis limitações.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Evolução da Agricultura: da Produção Tradicional à Agricultura 4.0

A agricultura está presente ao longo da história da humanidade, sendo um dos pilares da organização social e do desenvolvimento econômico das civilizações. Desde os primeiros sistemas voltados para a subsistência até os modelos mais atuais, o setor passou por diversas mudanças que transformaram a forma de produzir, gerir e utilizar os recursos naturais (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

No início, a agricultura era marcada por práticas manuais e grande uso de mão de obra, com pouca mecanização e forte dependência das condições climáticas. A produção era voltada

principalmente para o consumo local, com pouca integração entre regiões. Apesar da baixa produtividade, esse modelo apresentava menor impacto ambiental quando comparado aos sistemas agrícolas intensivos atuais (BOLFE *et al.*, 2020).

Com o avanço da Revolução Industrial, a agricultura passou por sua primeira grande transformação estrutural. A introdução de máquinas agrícolas, como tratores e outros equipamentos mecanizados, possibilitou a expansão da produção e reduziu a dependência da força humana e animal. Esse período marcou o início da mecanização agrícola e trouxe mais eficiência para atividades como preparo do solo, plantio e colheita (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

A partir da década de 1960, ocorreu a chamada Revolução Verde, que representou um novo marco no desenvolvimento agrícola. Esse processo foi caracterizado pela introdução de sementes melhoradas, uso intensivo de fertilizantes químicos, pesticidas e irrigação em larga escala. A Revolução Verde contribuiu para o aumento da produtividade e a expansão da produção de alimentos no mundo. No entanto, também gerou impactos ambientais importantes, como a degradação do solo, a poluição dos recursos hídricos e a redução da biodiversidade (SISHODIA; RAY; SINGH, 2020).

Novas mudanças passaram a ser impulsionadas com o avanço das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), especialmente a partir do final do século XX e início do século XXI. Nesse contexto, surge a chamada Agricultura de Precisão, que pode ser entendida como uma etapa intermediária entre a mecanização intensiva e a Agricultura 4.0.

Essa abordagem passou a utilizar tecnologias como sistemas de posicionamento global (GPS), mapas de produtividade e sensores para o monitoramento das lavouras, permitindo um controle mais preciso da variabilidade das áreas cultivadas (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

Esse processo evoluiu para o que hoje conhecemos como Agricultura Digital ou Agricultura 4.0. Esse conceito está relacionado ao uso de tecnologias digitais avançadas, como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Big Data, computação em nuvem, sensoriamento remoto e drones aplicados à produção agropecuária (PISTORI; MOLLO NETO, 2024). Diferente das fases anteriores, a Agricultura 4.0 se baseia no uso estratégico de dados para orientar decisões em tempo real.

De acordo com Bolfe *et al.* (2020), a Agricultura Digital representa uma mudança significativa na forma como o conhecimento é produzido e utilizado no campo, promovendo maior integração entre máquinas, sistemas e pessoas. Nesse contexto, a tomada de decisão deixa de depender apenas da experiência prática e passa a ser apoiada por dados, análises preditivas e

monitoramento contínuo das atividades agrícolas. Além dos impactos na produção, a digitalização também influencia os demais elos da cadeia agroindustrial. Segundo Kellermann *et al.* (2021), o uso dessas tecnologias contribui para ampliar a rastreabilidade dos processos e reduzir desperdícios ao longo da cadeia de suprimentos, favorecendo maior eficiência operacional.

No entanto, cada etapa do desenvolvimento agrícola trouxe seus próprios desafios. Embora a mecanização tenha aumentado a produtividade, também intensificou o uso dos recursos naturais. Da mesma forma, a Revolução Verde ampliou a produção de alimentos, mas gerou impactos ambientais importantes. Já a Agricultura 4.0, apesar de promissora, levanta questões relacionadas à dependência tecnológica, desigualdade no acesso às inovações e possíveis impactos ambientais indiretos, como o aumento do consumo de energia e a geração de resíduos eletrônicos (SANTOS, 2024).

2.2 Tecnologias Habilitadoras da Agricultura Digital

2.2.1 Internet das Coisas (IoT) na Agricultura

A Internet das Coisas (IoT) é considerada uma das principais tecnologias que impulsionam a Agricultura Digital, pois permite a conexão entre dispositivos físicos e sistemas digitais por meio da coleta e transmissão de dados em tempo real. No contexto agrícola, a IoT possibilita que sensores instalados no campo realizem o monitoramento contínuo de variáveis como umidade do solo, temperatura, luminosidade, níveis de nutrientes e condições climáticas (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

Esses sensores se conectam a plataformas digitais que armazenam e analisam os dados coletados, permitindo que o produtor acompanhe o desempenho da lavoura à distância e tome decisões mais precisas. Nesse sentido, Pistori e Mollo Neto (2024) destacam que a IoT é um dos principais fundamentos da Agricultura 4.0, pois permite a integração entre máquinas, equipamentos e sistemas de gestão agrícola.

A otimização do uso de recursos naturais é uma das principais vantagens da IoT na agricultura. Sistemas de irrigação inteligentes, por exemplo, utilizam sensores de umidade para identificar o momento ideal de aplicação de água, evitando desperdícios e reduzindo impactos ao meio ambiente. Esse tipo de aplicação contribui diretamente para práticas mais sustentáveis, especialmente em regiões com escassez hídrica (CLERCQ; VATS; BEL, 2018).

Assim, a IoT permite o monitoramento contínuo da saúde das plantas e do solo, auxiliando na identificação precoce de pragas e doenças. Com base nos dados coletados, é

possível aplicar defensivos de forma localizada, reduzindo o uso excessivo de produtos químicos e os impactos ambientais (CLERCQ; VATS; BEL, 2018).

A integração da IoT com sistemas de gestão agrícola, conhecidos como Farm Management Systems (FMS), é outro ponto importante. Esses sistemas reúnem dados sobre plantio, colheita, uso de insumos e produtividade, permitindo um melhor gerenciamento das atividades e um planejamento mais eficiente. De acordo com Bolfe *et al.*, (2020), a conectividade proporcionada pela IoT contribui para uma gestão mais eficiente e baseada em dados, auxiliando na modernização do setor agropecuário no Brasil.

No entanto, apesar dos benefícios, a adoção da IoT no meio rural ainda enfrenta obstáculos estruturais. Um dos principais desafios, especialmente para pequenas propriedades, é a falta de conectividade em regiões rurais. Além disso, os custos iniciais para aquisição de equipamentos e a necessidade de capacitação técnica também dificultam a adoção dessas tecnologias por produtores de menor porte (CEPAL, 2021).

Do ponto de vista ambiental, embora a IoT contribua para a redução do uso de insumos e recursos naturais, é importante considerar os impactos relacionados à fabricação e ao descarte de equipamentos eletrônicos. O aumento no uso de sensores e dispositivos digitais pode gerar resíduos eletrônicos, o que exige a adoção de políticas adequadas para sua gestão e reciclagem (SANTOS, 2024).

Dessa forma, a Internet das Coisas se destaca como um componente importante da Agricultura Digital, contribuindo para maior precisão, eficiência e para práticas mais sustentáveis. No entanto, sua efetividade depende de uma infraestrutura adequada, acesso à conectividade e de políticas que incentivem a inclusão digital no meio rural (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

2.2.2 Inteligência Artificial (IA) na Agricultura

Uma das principais tecnologias relacionadas à Agricultura Digital é a Inteligência Artificial (IA), que transforma grandes volumes de dados em informações estratégicas para a tomada de decisões no campo. Diferente da Internet das Coisas, que se concentra na coleta e transmissão de dados, a Inteligência Artificial atua na interpretação dessas informações, utilizando algoritmos e modelos computacionais para identificar padrões, prever cenários e orientar intervenções (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

Na agricultura, a inteligência artificial é utilizada em diferentes etapas do processo produtivo, como previsão de colheitas, identificação de pragas e doenças, análise de imagens

aéreas, recomendação de insumos e gestão de riscos climáticos. Esses sistemas podem aprender com dados históricos e aprimorar continuamente suas análises por meio de técnicas de aprendizado de máquina (machine learning) (BOLFE *et al.*, 2020).

De acordo com Pistori e Mollo Neto (2024), a implementação da Inteligência Artificial na produção agropecuária permite maior precisão nas decisões agrônômicas, reduzindo incertezas e melhorando o uso dos recursos. Isso é especialmente importante em um setor que depende fortemente de fatores ambientais, como clima, solo e ciclos biológicos.

Além disso, sistemas de inteligência artificial podem contribuir para a previsão do clima e o planejamento das colheitas. Ao integrar dados meteorológicos, históricos de produtividade e características do solo, os modelos preditivos permitem estimativas mais precisas sobre o rendimento das culturas. Essa capacidade de previsão contribui para uma gestão mais eficiente e estratégica das propriedades agrícolas (BOLFE *et al.*, 2020).

Bolfe *et al.*, (2020) destacam que a Inteligência Artificial amplia a capacidade de processamento de informações no setor agrícola, tornando o produtor um gestor orientado por dados. Nesse contexto, as decisões deixam de ser apenas intuitivas e passam a se basear em análises técnicas, o que contribui para o aumento da eficiência produtiva e da competitividade.

No entanto, a implementação da Inteligência Artificial no campo também enfrenta desafios. A adoção dessas tecnologias exige uma infraestrutura digital adequada, acesso à internet de qualidade e disponibilidade de plataformas especializadas. No Brasil, a desigualdade no acesso à tecnologia pode limitar o uso desses sistemas, especialmente entre pequenos produtores (CEPAL, 2021).

Outro aspecto importante a ser considerado é a dependência tecnológica e a centralização de dados em grandes empresas de tecnologia. Essa concentração de informações pode gerar desequilíbrios de poder e desafios na governança dos dados, tornando necessária a criação de políticas públicas e regulamentações que garantam transparência e proteção aos produtores (SANTOS, 2024).

Do ponto de vista ambiental, embora a Inteligência Artificial contribua para maior eficiência e redução de desperdícios, é importante considerar o consumo de energia associado ao processamento de grandes volumes de dados em servidores e centros de armazenamento. Dessa forma, a sustentabilidade da Agricultura 4.0 também depende de práticas responsáveis na gestão da infraestrutura tecnológica (SANTOS, 2024).

Assim, a Inteligência Artificial se consolida como uma ferramenta importante dentro da Agricultura Digital, ampliando a capacidade de análise e de tomada de decisões no campo. No entanto, sua efetividade depende da superação de desafios estruturais e da criação de

modelos de governança que garantam o uso ético e sustentável da tecnologia (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

2.2.3 Big Data na Agricultura

O termo Big Data refere-se à capacidade de reunir, armazenar, processar e analisar grandes volumes de dados provenientes de diferentes fontes, com alta velocidade e em diversos formatos. No contexto da Agricultura Digital, o Big Data funciona como uma base de informações que apoia a tomada de decisões estratégicas no campo (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

A agricultura atual gera uma grande quantidade de dados provenientes de sensores, estações meteorológicas, imagens de satélite, drones, máquinas agrícolas, sistemas de gestão e registros históricos de produtividade. O Big Data permite integrar essas informações em plataformas digitais, relacionando variáveis climáticas, características do solo, dados de plantio e desempenho produtivo, transformando dados brutos em informações úteis para a tomada de decisão (BOLFE *et al.*, 2020).

De acordo com Pistori e Mollo Neto (2024), o uso do Big Data na Agricultura 4.0 amplia a capacidade de análise preditiva, permitindo a identificação de padrões e a antecipação de cenários. Em um setor marcado por incertezas, como mudanças climáticas, variações de mercado e surgimento de pragas, essa capacidade de antecipação se torna fundamental.

Uma das principais vantagens do Big Data é a possibilidade de personalizar a gestão agrícola. Por exemplo, ao analisar dados históricos de produtividade por talhão, é possível identificar áreas com maior ou menor potencial produtivo e ajustar a aplicação de insumos de forma mais específica. Essa abordagem reduz o desperdício e promove o uso mais eficiente de fertilizantes, sementes e defensivos agrícolas (CLERCQ; VATS; BEL, 2018).

Além disso, o planejamento estratégico de longo prazo também é favorecido pelo uso do Big Data. A análise conjunta de dados econômicos, climáticos e produtivos permite decisões mais precisas sobre a escolha de culturas, épocas de plantio e estratégias de comercialização, Bolfe *et al.*, (2020) destacam que a consolidação de bancos de dados agrícolas fortalece a competitividade do setor e melhora a eficiência do sistema.

No contexto da sustentabilidade, o Big Data tem um papel importante ao permitir um monitoramento mais detalhado do uso de recursos naturais. Sistemas de análise de dados conseguem identificar padrões de consumo de água e energia, contribuindo para a adoção de

práticas mais sustentáveis e alinhadas às demandas ambientais atuais (SANTOS, 2024).

No entanto, o uso intensivo de Big Data também levanta preocupações relacionadas à segurança e à governança dos dados. A coleta em larga escala de informações agrícolas pode gerar questões sobre a privacidade dos produtores e o controle desses dados por grandes empresas de tecnologia. A ausência de regulamentações claras pode resultar em desequilíbrios de poder e maior dependência tecnológica.

Outro ponto importante é a infraestrutura necessária para armazenar e processar grandes volumes de dados. O funcionamento de servidores e centros de processamento demanda alto consumo de energia, o que pode gerar impactos ambientais indiretos (SANTOS, 2024). Assim, embora o Big Data contribua para maior eficiência produtiva, sua sustentabilidade também depende de uma gestão responsável da infraestrutura digital.

No Brasil, a expansão do Big Data no meio rural está diretamente ligada à melhoria da conectividade no campo e à capacitação dos produtores rurais. A limitação do acesso à internet de qualidade em algumas regiões ainda representa um desafio importante para a adoção da Agricultura Digital (CEPAL, 2021).

Dessa forma, o Big Data se destaca como um elemento importante da Agricultura 4.0, permitindo a transformação de dados em informações estratégicas. Sua aplicação contribui para melhorar a eficiência, reduzir desperdícios e aprimorar a gestão ambiental, mas também exige atenção a questões como governança, segurança da informação e sustentabilidade tecnológica (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

2.2.4 Drones e Sensoriamento Remoto na Agricultura

Um dos avanços mais importantes da Agricultura Digital é o uso de drones e técnicas de sensoriamento remoto, que permitem o monitoramento detalhado das áreas cultivadas por meio de imagens aéreas e dados georreferenciados. Essas tecnologias possibilitam uma análise mais precisa do desenvolvimento das culturas, além da identificação de problemas como estresse hídrico, deficiência nutricional e focos iniciais de pragas e doenças (BOLFE *et al.*, 2020).

O sensoriamento remoto é o processo de coletar informações sobre uma área sem contato físico direto, utilizando sensores acoplados a satélites, aeronaves ou drones. No contexto agrícola, essa tecnologia permite o mapeamento rápido e eficiente de grandes áreas, contribuindo para o monitoramento contínuo das plantações (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

De acordo com Pistori e Mollo Neto (2024), o uso de drones na Agricultura 4.0 melhora a coleta de dados em alta resolução, fornecendo imagens detalhadas que auxiliam no diagnóstico agrônomo. A partir dessas imagens, é possível elaborar mapas de variabilidade, índices de vegetação e relatórios técnicos que orientam o manejo localizado.

A Agricultura de Precisão está diretamente relacionada à aplicação prática dessas tecnologias. Ao identificar áreas específicas com problemas, o produtor pode realizar intervenções direcionadas, reduzindo o uso excessivo de defensivos e fertilizantes. Essa abordagem contribui para a redução de custos e para a diminuição dos impactos ambientais, especialmente em relação à contaminação do solo e da água (CLERCQ; VATS; BEL, 2018).

Além disso, a pulverização localizada pode ser realizada com o uso de drones, permitindo maior controle sobre a quantidade de insumos aplicada e reduzindo a exposição ao meio ambiente. Essa precisão operacional evidencia o potencial da Agricultura Digital como ferramenta de apoio à gestão ambiental em propriedades rurais (BOLFE *et al.*, 2020).

Bolfe *et al.*, (2020) destacam que o sensoriamento remoto auxilia no planejamento estratégico ao permitir o acompanhamento histórico da produtividade e a comparação entre diferentes safras. A elaboração de mapas temáticos contribui para a tomada de decisões e para a definição de estratégias de manejo mais eficientes.

Além disso, a implementação de drones e sistemas de sensoriamento remoto envolve desafios técnicos e econômicos. O alto custo de aquisição dos equipamentos, a necessidade de capacitação para interpretação dos dados e as normas relacionadas ao uso de aeronaves não tripuladas podem limitar sua adoção, principalmente em pequenas propriedades (CEPAL, 2021).

Outro aspecto importante diz respeito à administração dos dados produzidos. As imagens registradas necessitam de processamento e análise por meio de softwares especializados, o que requer uma infraestrutura digital e integração com sistemas de Big Data e Inteligência Artificial. Assim, drones e sensoriamento remoto não operam de forma isolada, mas integram um ecossistema tecnológico mais abrangente da Agricultura 4.0.

2.2.5 Blockchain e Rastreabilidade na Cadeia Agroindustrial

O blockchain é uma tecnologia de registro digital descentralizado que permite o armazenamento de dados de forma segura, transparente e imutável. Inicialmente associada ao setor financeiro, essa tecnologia passou a ser aplicada em diferentes áreas, incluindo o agronegócio, especialmente no que se refere à rastreabilidade e ao gerenciamento da cadeia

produtiva (KELLERMANN *et al.*, 2021).

De acordo com Kellermann *et al.* (2021), o uso do blockchain na cadeia de suprimentos agrícola contribui para a redução de desperdícios, o aprimoramento do controle logístico e o aumento da eficiência operacional. A rastreabilidade permite identificar falhas na produção, reduzir perdas e melhorar a distribuição, contribuindo para uma maior sustentabilidade do sistema.

Além disso, o blockchain pode contribuir para a certificação de práticas ambientais sustentáveis. Informações sobre o uso de insumos, origem das sementes, manejo do solo e cumprimento de normas ambientais podem ser registradas de forma digital, aumentando a confiabilidade das práticas adotadas nas propriedades rurais. Esse aspecto é especialmente relevante em mercados que exigem comprovação de compromisso socioambiental (KELLERMANN *et al.*, 2021).

Bolfe *et al.* (2020) destacam que a digitalização da cadeia produtiva aumenta a competitividade do agronegócio brasileiro, especialmente no mercado internacional, onde consumidores e importadores exigem maior transparência quanto à origem e aos impactos ambientais dos produtos.

No entanto, a adoção do blockchain também enfrenta desafios. A implementação dessa tecnologia exige colaboração entre os diferentes participantes da cadeia produtiva, padronização de dados e investimento em infraestrutura digital. Além disso, é necessário que os produtores tenham acesso a plataformas adequadas e recebam capacitação para utilizar os sistemas de forma eficiente (CEPAL, 2021).

Do ponto de vista ambiental, o blockchain pode contribuir para a sustentabilidade ao aumentar o controle e a rastreabilidade das práticas agrícolas. No entanto, também é importante considerar o consumo de energia associado ao funcionamento de algumas redes blockchain, especialmente aquelas que exigem maior capacidade de processamento (SANTOS, 2024).

Dessa forma, o blockchain se destaca como uma ferramenta importante da Agricultura Digital, ao melhorar a rastreabilidade, a transparência e a governança na cadeia agroindustrial. A integração de tecnologias como IoT, Big Data e Inteligência Artificial fortalece a Agricultura 4.0 na construção de sistemas de produção mais eficientes e sustentáveis (KELLERMANN *et al.*, 2021).

2.2.6 Integração entre Inovação Tecnológica e Sustentabilidade no Contexto da Agricultura 4.0

A literatura recente sobre agricultura digital mostra que a adoção de tecnologias como IoT, inteligência artificial e sensoriamento remoto tem contribuído para aumentar a eficiência da produção e melhorar o controle das variáveis ambientais nas propriedades rurais (BOLFE *et al.*, 2020).

Essas tecnologias permitem um acompanhamento mais preciso das atividades agrícolas, auxiliando os produtores na tomada de decisões e no uso mais eficiente dos recursos disponíveis. Farooq *et al.* (2019) destacam que a internet das coisas possibilita a automação e o monitoramento contínuo das atividades agrícolas, contribuindo para a redução de desperdícios e para o aumento da eficiência operacional.

Já Sishodia, Ray e Singh (2020) ressaltam a importância do sensoriamento remoto, que permite identificar com maior precisão as condições das lavouras e realizar aplicações mais localizadas de insumos, reduzindo impactos ambientais.

Além disso, Pistori e Mollo Neto (2024) afirmam que a agricultura 4.0 não se limita apenas ao uso de tecnologias no campo. Segundo os autores, a digitalização também influencia a logística, a rastreabilidade e a gestão das propriedades, tornando os processos mais organizados e facilitando o planejamento das atividades agrícolas.

No Brasil, Bolfe *et al.* (2020) observam que a adoção dessas tecnologias está relacionada à busca por maior produtividade e eficiência econômica. No entanto, os autores destacam que seus benefícios vão além dos resultados produtivos, contribuindo também para um melhor controle das informações e das questões ambientais dentro da propriedade.

Dessa forma, mesmo abordando aspectos diferentes, os autores concordam que a tecnologia tem papel importante na transformação da agricultura. Porém, é importante destacar que a sustentabilidade não depende apenas da adoção de novas ferramentas.

Para que os benefícios realmente aconteçam, é necessário que a tecnologia esteja associada a um bom planejamento e a práticas de gestão voltadas para o uso responsável dos recursos naturais (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

Assim, a agricultura digital pode contribuir para a construção de sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis, desde que a inovação tecnológica seja utilizada de forma alinhada aos objetivos ambientais e às necessidades de cada propriedade rural.

3 GESTÃO AMBIENTAL EM PROPRIEDADES RURAIS

3.1 Conceitos de Gestão Ambiental

A gestão ambiental pode ser entendida como um conjunto de práticas, ferramentas e estratégias voltadas à organização das atividades produtivas, buscando reduzir impactos no meio ambiente e promover o uso consciente dos recursos naturais. Nesse contexto, a gestão assume um papel estratégico, uma vez que a produção agropecuária depende diretamente da conservação do solo, da disponibilidade de água e do equilíbrio ecológico (SISHODIA; RAY; SINGH, 2020).

Pesquisas recentes indicam que a gestão ambiental no meio rural deixou de ser apenas um mecanismo de cumprimento legal e passou a integrar o planejamento estratégico das propriedades, principalmente devido às exigências do mercado por práticas mais sustentáveis (SANTOS, 2024). Nesse contexto, a variável ambiental passa a fazer parte do processo decisório, influenciando desde o planejamento da safra até o uso de insumos.

Segundo análises recentes sobre sustentabilidade no agronegócio, a gestão ambiental envolve não apenas o controle de impactos, mas também a prevenção de danos e a busca por maior eficiência no uso de recursos naturais (SANTOS, 2024). Essa abordagem preventiva é especialmente importante em sistemas agrícolas intensivos, nos quais pequenas falhas de manejo podem resultar em degradação significativa.

Estudos recentes indicam que a gestão ambiental nas propriedades rurais está diretamente relacionada à competitividade do setor. Propriedades que adotam práticas sustentáveis tendem a apresentar melhor desempenho operacional, maior controle de custos e acesso ampliado a mercados que exigem certificações socioambientais (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

Outro ponto relevante é a relação entre gestão ambiental e inovação tecnológica. A digitalização no campo tem ampliado a capacidade de monitorar variáveis ambientais, permitindo um controle mais preciso sobre a aplicação de fertilizantes, o uso de água e as emissões associadas à atividade produtiva (BOLFE *et al.*, 2020). Dessa forma, a gestão ambiental passa a incorporar ferramentas digitais como apoio à tomada de decisões.

No Brasil, a implementação de práticas ambientais nas propriedades rurais está relacionada às mudanças estruturais no agronegócio, que busca equilibrar produtividade e sustentabilidade diante de pressões internas e externas. A necessidade de conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental reforça a importância de sistemas de gestão capazes de integrar esses aspectos (CEPAL, 2021).

Assim, a gestão ambiental em propriedades rurais pode ser entendida como um processo contínuo de planejamento, monitoramento e melhoria das práticas produtivas, com o objetivo de equilibrar o desempenho econômico e a preservação dos recursos naturais. Mais do que

uma exigência normativa, trata-se de uma estratégia essencial para a sustentabilidade do setor agropecuário a longo prazo (SANTOS, 2024).

3.2 Sustentabilidade no Meio Rural

A sustentabilidade no meio rural é um dos principais desafios enfrentados pelo setor agropecuário na atualidade. Com o aumento da demanda global por alimentos e a crescente pressão por preservação ambiental, o agronegócio passou a ser cobrado não apenas em termos de produtividade, mas também quanto à responsabilidade socioambiental. Nesse contexto, a sustentabilidade deixa de ser um conceito abstrato e passa a fazer parte do planejamento estratégico das propriedades rurais (SANTOS, 2024).

De forma geral, a sustentabilidade no meio rural envolve o equilíbrio entre três dimensões interligadas: ambiental, econômica e social. A dimensão ambiental está relacionada à conservação do solo, da água e da biodiversidade; a dimensão econômica diz respeito à viabilidade financeira da atividade produtiva; e a dimensão social envolve as condições de trabalho, a inclusão tecnológica e o desenvolvimento regional (SANTOS, 2024).

Estudos recentes indicam que a sustentabilidade no agronegócio está diretamente relacionada à eficiência no uso de recursos naturais e à redução de desperdícios ao longo da cadeia produtiva (KELLERMANN *et al.*, 2021). Nesse contexto, práticas como o manejo adequado do solo, o uso responsável de insumos e o monitoramento contínuo das áreas cultivadas contribuem tanto para a preservação ambiental quanto para a redução de custos operacionais.

Além disso, a literatura aponta que a transformação digital tem ampliado as possibilidades de promover a sustentabilidade no campo. A adoção de tecnologias digitais permite um monitoramento mais preciso das variáveis ambientais e operacionais, facilitando a tomada de decisões com menor impacto (PISTORI; MOLLO NETO, 2024). Dessa forma, a sustentabilidade é fortalecida por ferramentas que ampliam a capacidade de monitoramento e análise das propriedades.

De acordo com Santos (2024), a adoção de tecnologias associadas à Indústria 4.0 no setor agropecuário pode favorecer práticas mais sustentáveis, especialmente ao contribuir para a redução de desperdícios, otimização de recursos e diminuição de impactos ambientais. No entanto, o autor também ressalta a importância de considerar os possíveis efeitos indiretos da digitalização, como o consumo de energia da infraestrutura tecnológica.

A inclusão tecnológica como componente da sustentabilidade social no meio rural é

outro aspecto importante. Estudos sobre Agricultura Digital e a inserção de pequenos produtores indicam que a sustentabilidade também está relacionada à democratização do acesso às tecnologias (CEPAL, 2021). A concentração de inovações em grandes propriedades pode aumentar as desigualdades e dificultar um desenvolvimento mais equilibrado do setor.

A sustentabilidade no meio rural tem um papel estratégico no Brasil, já que o país é um dos maiores produtores de alimentos do mundo. A busca por competitividade no mercado global, junto com a necessidade de atender às normas ambientais, reforça a importância de modelos de produção que consigam equilibrar eficiência e responsabilidade ambiental (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

Nesse contexto, a sustentabilidade não pode ser vista de forma isolada, mas como resultado da integração entre gestão eficiente, inovação tecnológica e responsabilidade socioambiental. A Agricultura Digital aparece como uma alternativa com grande potencial para fortalecer práticas sustentáveis, desde que esteja acompanhada de políticas públicas, infraestrutura adequada e capacitação técnica.

Assim, a consolidação da sustentabilidade nas propriedades rurais depende da integração entre práticas de gestão ambiental, inovação tecnológica e inclusão social. Compreender essa relação é fundamental para analisar o papel da Agricultura 4.0 na construção de sistemas de produção mais equilibrados e resilientes.

3.3 Legislação Ambiental Aplicada ao Setor Agropecuário

As diretrizes para o uso e ocupação do solo, a conservação da vegetação nativa e o controle dos impactos ambientais decorrentes das atividades produtivas são estabelecidas pela legislação ambiental brasileira. No setor agropecuário, essas diretrizes são especialmente relevantes, já que a produção depende diretamente da preservação dos recursos naturais e do equilíbrio ecológico (CEPAL, 2021).

A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei n.º 6.938/1981) e o Código Florestal (Lei n.º 12.651/2012) são dois dos principais instrumentos legais que impactam as propriedades rurais. Esses instrumentos estabelecem normas para a proteção da vegetação nativa, incluindo a obrigatoriedade de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e de Reserva Legal. Além disso, o Cadastro Ambiental Rural (CAR) tornou-se um instrumento obrigatório para o registro das informações ambientais das propriedades, servindo como base de dados para o monitoramento e a regularização ambiental.

Nesse contexto, o agricultor precisa manter um controle mais preciso sobre os limites

da propriedade, as áreas de preservação, o uso do solo, a aplicação de insumos e possíveis intervenções ambientais. É nesse cenário que a Agricultura Digital passa a exercer um papel estratégico no apoio à gestão dessas atividades (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

A digitalização do agronegócio tem ampliado a rastreabilidade das operações, a integração de dados e o acompanhamento georreferenciado das atividades produtivas. Pistori e Mollo Neto (2024) destacam que a Agricultura 4.0 impulsiona a digitalização da cadeia produtiva, permitindo o monitoramento em tempo real das atividades agrícolas e a geração de dados que apoiam decisões técnicas e estratégicas. Essa capacidade de registrar e organizar informações tem impacto direto na comprovação da conformidade ambiental.

A utilização de sensoriamento remoto, imagens de satélite e sistemas de monitoramento geoespacial permite a detecção de mudanças no uso do solo, o acompanhamento de áreas protegidas e a identificação de possíveis irregularidades ambientais (SISHODIA; RAY; SINGH, 2020). Essas tecnologias contribuem para a prevenção de infrações e reduzem o risco de autuações, além de possibilitar o monitoramento contínuo das áreas produtivas.

No Brasil, o uso de tecnologias digitais no meio rural tem crescido nos últimos anos. Segundo Bolfe *et al.*, (2020), a maioria dos produtores já utiliza ao menos uma tecnologia digital em suas propriedades, principalmente para gestão, monitoramento e aumento da produtividade. Essa digitalização gera um conjunto de dados que pode ser utilizado tanto para fins produtivos quanto para adequação ambiental e cumprimento de exigências legais.

Um ponto importante a ser considerado é que a Agricultura Digital contribui para o uso mais eficiente de insumos agrícolas, reduzindo desperdícios e impactos ambientais. As tecnologias aplicadas à agricultura de precisão permitem a aplicação direcionada de fertilizantes e defensivos, diminuindo o risco de contaminação do solo e da água (SISHODIA; RAY; SINGH, 2020). Assim, a conformidade legal deixa de ser apenas uma exigência burocrática e passa a fazer parte do planejamento técnico da propriedade.

Além disso, é importante considerar que os mercados nacionais e internacionais têm exigido cada vez mais rastreabilidade e comprovação de boas práticas ambientais. A digitalização dos dados produtivos facilita a realização de auditorias, certificações e a verificação da origem sustentável dos produtos. Nesse contexto, a integração entre a legislação ambiental e as tecnologias digitais contribui para aumentar a confiabilidade do setor agropecuário (KELLERMANN *et al.*, 2021).

Assim, a legislação ambiental aplicada ao setor agropecuário não deve ser vista apenas como um instrumento de fiscalização, mas também como um componente importante da gestão rural. Quando aliada às ferramentas da Agricultura Digital, ela contribui para tornar a

produção mais organizada, transparente e sustentável, reduzindo riscos legais e aumentando a competitividade do produtor (CEPAL, 2021)

3.4 Indicadores Ambientais na Propriedade Rural

Assim, a legislação ambiental aplicada ao setor agropecuário não deve ser vista apenas como um instrumento de fiscalização, mas também como parte importante da gestão rural. Quando aliada às ferramentas da Agricultura Digital, contribui para tornar a produção mais organizada, transparente e sustentável, reduzindo riscos legais e aumentando a competitividade do produtor (CEPAL, 2021).

No setor agropecuário, os principais indicadores ambientais estão relacionados ao uso da água, conservação do solo, uso de insumos agrícolas, eficiência energética, emissão de poluentes e preservação de áreas protegidas. Quando monitorados de forma sistemática, esses elementos permitem identificar falhas, reduzir desperdícios e orientar decisões técnicas mais sustentáveis (SANTOS, 2024).

Com o avanço da Agricultura Digital, a avaliação desses indicadores tornou-se mais precisa e acessível. A combinação de sensores, sistemas de posicionamento global (GPS), telemetria e plataformas de gestão permite o monitoramento contínuo das atividades agrícolas. De acordo com PISTORI e MOLLO NETO (2024), a digitalização das atividades produtivas possibilita a coleta e o processamento de grandes volumes de dados em tempo real, reforçando o controle operacional e a geração de informações estratégicas.

A agricultura de precisão, por exemplo, utiliza dados georreferenciados para aplicar fertilizantes e defensivos de forma localizada, reduzindo o uso excessivo de insumos e os impactos ambientais (SISHODIA; RAY; SINGH, 2020). Nesse contexto, métricas como a taxa de aplicação por hectare, o volume de insumos utilizados e a variabilidade espacial da produtividade tornam-se importantes para avaliar a eficiência e a sustentabilidade.

O acompanhamento da cobertura vegetal, a identificação de áreas degradadas e a verificação da conformidade com as áreas de preservação permanente e reserva legal são viabilizados por meio do sensoriamento remoto e de imagens de satélite. Essas informações auxiliam na prevenção de passivos ambientais e no planejamento do uso do solo (SISHODIA; RAY; SINGH, 2020).

No cenário brasileiro, pesquisas indicam que a adoção de tecnologias digitais nas propriedades rurais tem ampliado a capacidade de gestão baseada em dados (BOLFE *et al*, 2020). O uso de plataformas digitais de gestão permite a integração de informações produtivas

e ambientais, proporcionando uma visão mais completa da propriedade.

Outro indicador importante está relacionado à eficiência operacional das máquinas agrícolas. Sistemas de telemetria permitem o acompanhamento em tempo real da operação, consumo de combustível, períodos de inatividade e desempenho dos equipamentos. Embora frequentemente associados apenas à produtividade, esses dados também têm impacto direto na gestão ambiental. O consumo excessivo de combustível e a baixa eficiência operacional resultam em maiores emissões de gases e no aumento dos custos ambientais indiretos (SANTOS, 2024).

Além disso, a digitalização das operações permite o monitoramento de indicadores climáticos, como chuva, umidade do solo e temperatura, o que auxilia no planejamento da irrigação e no manejo adequado das culturas. A tomada de decisões com base nesses dados reduz o desperdício de água e aumenta a resiliência da produção (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

Nesse sentido, os indicadores ambientais deixam de ser apenas ferramentas de avaliação e passam a fazer parte do planejamento estratégico da propriedade rural. Quando associados às tecnologias digitais, permitem uma gestão ambiental mais proativa, técnica e baseada em dados.

Assim, a consolidação da Agricultura Digital reforça o uso de indicadores ambientais como ferramentas de controle, transparência e melhoria contínua. A integração entre tecnologia, dados e gestão ambiental representa um avanço importante para a sustentabilidade no setor agropecuário.

3.5 Gestão Ambiental como Elemento Estruturante da Competitividade Rural

A revisão da literatura indica que a gestão ambiental nas propriedades rurais deixou de ter um enfoque predominantemente normativo e passou a assumir uma perspectiva estratégica. Embora instrumentos legais, como o Código Florestal, estabeleçam padrões mínimo de preservação, a incorporação de tecnologias digitais amplia a capacidade de monitoramento e planejamento ambiental (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

Bolfe *et al.*, (2020) mostram que os produtores brasileiros têm adotado tecnologias digitais principalmente por motivos econômicos. No entanto, quando essas ferramentas são utilizadas no monitoramento dos recursos naturais, também contribuem para o fortalecimento da governança ambiental.

Pistori e Mollo Neto (2024) destacam que a digitalização da cadeia produtiva melhora

a rastreabilidade e a transparência, características cada vez mais exigidas pelos mercados globais. Nesse contexto, a gestão ambiental deixa de ser apenas uma exigência legal e passa a integrar a estratégia de competitividade do setor.

Portanto, a inovação tecnológica está diretamente relacionada à gestão ambiental moderna. A convergência desses fatores indica uma transformação no modelo de produção agropecuária, em que sustentabilidade e eficiência deixam de ser vistas como dimensões opostas e passam a ser compreendidas como complementares.

No entanto, é importante destacar que a consolidação desse modelo depende da democratização do acesso à tecnologia e do fortalecimento de políticas públicas que incentivem a inclusão digital no meio rural (CEPAL, 2021).

4 METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, pois busca compreender como a agricultura digital pode ser utilizada como ferramenta estratégica na gestão ambiental em propriedades rurais. Quanto à abordagem, trata-se de uma pesquisa qualitativa, já que o estudo procura analisar e interpretar informações, conceitos e discussões relacionados à tecnologia, sustentabilidade e gestão no meio rural, sem a utilização de dados estatísticos ou experimentais.

A pesquisa também possui caráter exploratório e descritivo. Exploratório porque busca ampliar a compreensão sobre a agricultura 4.0 e suas aplicações no setor agropecuário, e descritivo por apresentar as principais tecnologias digitais utilizadas atualmente e sua relação com a gestão ambiental nas propriedades rurais.

O desenvolvimento do estudo foi realizado por meio de revisão bibliográfica, utilizando artigos científicos, dissertações, teses, relatórios técnicos e publicações institucionais relacionadas ao tema. A pesquisa concentrou-se principalmente em estudos publicados entre os anos de 2018 e 2025, período também em que houve maior crescimento das discussões sobre agricultura digital, inovação tecnológica no agronegócio e sustentabilidade ambiental.

Para a busca dos materiais, foram utilizados termos como agricultura digital, agricultura 4.0, gestão ambiental, sustentabilidade no agronegócio, tecnologias digitais aplicadas à agricultura e internet das coisas na agricultura. Os materiais selecionados foram obtidos em bases de dados de plataformas digitais voltadas a trabalhos acadêmicos.

foram considerados estudos publicados em português e inglês que apresentassem relação direta com o uso de tecnologias digitais no meio rural e sua contribuição para a sustentabilidade ambiental. Em contrapartida, foram desconsiderados trabalhos que abordavam apenas aspectos econômicos ou temas sem ligação com a proposta da pesquisa.

Após a seleção dos materiais, foi realizada uma leitura dos conteúdos, buscando identificar pontos em comum, diferenças entre os autores e contribuições relevantes para o desenvolvimento do trabalho. As informações foram organizadas de acordo com os principais temas discutidos ao longo da pesquisa, como a evolução da agricultura 4.0, as tecnologias digitais aplicadas ao campo, o monitoramento ambiental e os desafios relacionados à adoção dessas ferramentas no Brasil.

Ao final, os conteúdos analisados foram relacionados de forma comparativa, permitindo compreender como a Agricultura Digital pode contribuir para práticas mais eficientes e sustentáveis no setor agropecuário.

4.1 Limitações da Pesquisa

Como toda revisão bibliográfica, este estudo apresenta limitações relacionadas à dependência de trabalhos já publicados, não incluindo pesquisa de campo ou coleta direta de dados primários. Além disso, por se tratar de um tema em constante evolução tecnológica, novas ferramentas e aplicações podem surgir após o período de recorte definido.

5 AGRICULTURA DIGITAL COMO FERRAMENTA ESTRATÉGICA PARA A GESTÃO AMBIENTAL

5.1 Aplicações Tecnológicas na Gestão Ambiental

A consolidação da Agricultura Digital tem ampliado as possibilidades de melhoria da gestão ambiental nas propriedades rurais. Com a incorporação de sensores, plataformas digitais, sistemas de georreferenciamento e análise de dados, essas tecnologias passaram a fornecer ferramentas que permitem transformar informações ambientais em base para a tomada de decisões (PISTORI; MOLLO NETO, 2024).

De acordo com Pistori e Mollo Neto (2024), a digitalização da cadeia produtiva agroindustrial permite o acompanhamento das atividades agrícolas em tempo real, proporcionando maior controle sobre a utilização de insumos e o desempenho operacional.

Essa capacidade de rastreabilidade tem impacto direto na gestão ambiental, pois facilita a identificação de desperdícios, falhas de manejo e oportunidades de otimização.

No setor da agricultura de precisão, o uso de sensoriamento remoto e imagens de satélite permite o monitoramento detalhado das plantações, a identificação da variabilidade espacial e a aplicação direcionada de fertilizantes e defensivos (SISHODIA; RAY; SINGH, 2020). Essa abordagem contribui para reduzir o uso excessivo de insumos, diminuindo o risco de contaminação do solo e dos recursos hídricos.

Assim, Bolfe *et al.*, (2020) ressaltam que a implementação de tecnologias digitais pelos produtores brasileiros tem contribuído para o aumento da produtividade e da eficiência operacional. Embora muitas dessas ferramentas sejam inicialmente adotadas com o objetivo de ampliar a produção, seus efeitos indiretos incluem a melhoria do controle ambiental e uma melhor organização das informações da propriedade.

Dessa forma, as aplicações tecnológicas na gestão ambiental vão além do simples monitoramento, passando a envolver a integração estratégica entre dados de produção e indicadores ambientais. Nesse contexto, a Agricultura Digital deixa de ser apenas um meio de modernização e se consolida como uma ferramenta essencial para a construção de sistemas de produção mais sustentáveis.

5.2 Monitoramento de Recursos Naturais

Uma das bases da gestão ambiental no meio rural é o monitoramento dos recursos naturais. Solo, água, clima e cobertura vegetal são elementos essenciais para a produção agropecuária e, ao mesmo tempo, estão entre os mais suscetíveis à degradação quando o manejo não é realizado de forma adequada. Nesse contexto, a Agricultura Digital surge como uma ferramenta capaz de ampliar a capacidade de monitoramento dessas variáveis (SANTOS, 2024).

O monitoramento de grandes áreas agrícolas com precisão espacial e temporal é viável por meio do uso do sensoriamento remoto. Segundo SISHODIA, RAY E SINGH (2020), as imagens de satélite e as tecnologias de geoprocessamento permitem identificar alterações na saúde das culturas, estresse hídrico e degradação do solo, favorecendo intervenções mais rápidas e eficazes. Essa capacidade contribui para a redução de perdas na produção e para o uso mais eficiente de insumos.

A aplicação de sensores em campo, como parte da Internet das Coisas (IoT), também fortalece o monitoramento ambiental. Farooq *et al.*, (2019) destacam que sensores de umidade

do solo, temperatura e pH permitem o acompanhamento contínuo das condições ambientais, fornecendo informações em tempo real para a tomada de decisões mais precisas. Esse monitoramento contribui tanto para o uso mais eficiente da água quanto para uma gestão mais equilibrada do solo.

Em relação aos recursos hídricos, a digitalização das atividades agrícolas possibilita um gerenciamento mais eficiente da irrigação. Sistemas automatizados ajustam a irrigação de acordo com as necessidades específicas das culturas e as condições climáticas, prevenindo desperdícios e reduzindo impactos sobre os mananciais. Esse tipo de monitoramento torna-se especialmente importante diante das mudanças climáticas e da crescente demanda por recursos hídricos (SANTOS, 2024).

Além disso, a coleta e a análise de grandes volumes de dados, característica da Agricultura 4.0, permitem a integração de informações climáticas, produtivas e ambientais. Pistori e Mollo Neto (2024) destacam que a digitalização da cadeia produtiva facilita a geração de conhecimento estratégico a partir dos dados coletados, fortalecendo a tomada de decisões baseada em evidências.

No Brasil, a adoção de tecnologias digitais tem ampliado o acesso a ferramentas de monitoramento georreferenciado e gestão integrada da propriedade (BOLFE *et al.*, 2020). Com essa integração, o produtor pode visualizar mapas de produtividade, áreas de preservação e o desempenho das operações, o que contribui para um maior controle ambiental e organizacional.

Dessa forma, o monitoramento dos recursos naturais deixa de ser uma tarefa esporádica e passa a ser um processo contínuo, baseado em dados, análises e indicadores mensuráveis, assim a Agricultura Digital transforma a gestão ambiental ao permitir o acompanhamento constante das variáveis que impactam diretamente a sustentabilidade das práticas agropecuárias.

Nesse contexto, a utilização de tecnologias digitais no monitoramento do solo, da água e do clima representa um avanço importante na busca por sistemas de produção mais resilientes e sustentáveis.

5.3 Redução de Impactos Ambientais

Um dos principais argumentos que sustentam a integração entre Agricultura Digital e gestão ambiental é a redução dos impactos ambientais. Em sistemas produtivos convencionais, a aplicação padronizada de insumos, o manejo impreciso e a ausência de monitoramento contínuo podem resultar em desperdícios, contaminação do solo e da água, além do aumento

das emissões associadas à atividade agrícola. Nesse contexto, as tecnologias digitais surgem como ferramentas capazes de mitigar esses impactos (SANTOS, 2024).

Com base na variabilidade das áreas das lavouras, a agricultura de precisão permite a aplicação direcionada de fertilizantes, corretivos e defensivos agrícolas. De acordo com Sishodia, Ray e Singh (2020), o uso de sensoriamento remoto e dados georreferenciados possibilita a identificação de áreas que necessitam de intervenção, reduzindo a aplicação indiscriminada de insumos. Essa prática contribui para a diminuição dos riscos de lixiviação, contaminação da água e degradação do solo.

A Internet das Coisas (IoT) também desempenha um papel importante nesse processo, Farooq *et al.*, (2019) destacam que sensores conectados permitem o monitoramento contínuo das condições ambientais e operacionais, contribuindo para a tomada de decisões mais precisas. Ao ajustar a aplicação de água e nutrientes de acordo com as demandas reais da cultura, reduz-se o desperdício e os impactos ambientais indiretos da produção.

A digitalização das atividades agrícolas contribui para uma maior eficiência energética. Sistemas de telemetria e monitoramento de máquinas permitem o acompanhamento do consumo de combustível, do tempo de operação e do desempenho dos equipamentos. Embora muitas vezes associados à redução de custos, esses indicadores também influenciam diretamente a gestão ambiental, uma vez que operações mais eficientes resultam em menores emissões de poluentes (SANTOS, 2024).

Pistori e Mollo Neto (2024) destacam que a digitalização do setor agroindustrial favorece a integração de dados ao longo da cadeia produtiva, possibilitando maior controle das operações e rastreabilidade. Esse nível de organização contribui para a identificação de pontos críticos no processo produtivo, facilitando ajustes que reduzam os impactos ambientais.

No cenário brasileiro, Bolfe *et al.* (2020) indicam que a implementação de tecnologias digitais pelos produtores está principalmente relacionada à busca por maior eficiência e produtividade. Contudo, os autores destacam que os impactos dessas tecnologias vão além do aspecto econômico, contribuindo de forma indireta para a adoção de práticas mais sustentáveis.

É importante destacar que a redução dos impactos ambientais não depende apenas da tecnologia, mas da forma como ela é utilizada. A simples adoção de ferramentas digitais não garante sustentabilidade sem planejamento e gestão adequados. Nesse contexto, a Agricultura Digital deve ser compreendida como uma ferramenta de apoio à gestão ambiental, e não como uma solução isolada.

Assim, a combinação de tecnologias digitais com práticas de manejo sustentável

aumenta as chances de reduzir os impactos ambientais na agropecuária. A aplicação localizada de insumos, o monitoramento contínuo e a análise de dados se destacam como estratégias essenciais para conciliar produtividade e responsabilidade ambiental.

5.4 Benefícios e Limitações

A adoção da Agricultura Digital como ferramenta estratégica para a gestão ambiental apresenta vantagens importantes, mas também envolve limitações que precisam ser consideradas. Para compreender seu real potencial no meio rural, é fundamental analisar essas dimensões de forma equilibrada.

Um dos principais benefícios é a melhoria da eficiência no uso dos recursos naturais. A aplicação localizada de insumos, o monitoramento em tempo real e a análise de dados georreferenciados permitem intervenções agrícolas mais precisas, reduzindo desperdícios e impactos ambientais (SISHODIA; RAY; SINGH, 2020). Essa precisão operacional contribui para a otimização da produção e para o fortalecimento da sustentabilidade.

Um benefício adicional significativo é a melhoria da rastreabilidade e da organização das informações produtivas. Pistori e Mollo Neto (2024) ressaltam que a digitalização da cadeia agroindustrial permite a integração de dados e aumenta a transparência das operações, o que facilita tanto a gestão interna quanto o cumprimento de requisitos legais e certificações ambientais.

No contexto brasileiro, Bolfe *et al.* (2020) apontam que a incorporação de tecnologias digitais está relacionada ao aumento da produtividade e a uma gestão mais eficiente da propriedade. Mesmo quando inicialmente voltadas para ampliar a produção, essas ferramentas acabam contribuindo para o controle ambiental e incentivando práticas mais sustentáveis.

No entanto, apesar de suas vantagens, a Agricultura Digital enfrenta desafios estruturais e operacionais. Um dos principais obstáculos está relacionado ao acesso à infraestrutura tecnológica, especialmente à conectividade no meio rural. Em algumas regiões, a falta de acesso à internet de qualidade compromete o funcionamento adequado de sistemas que dependem de dados e monitoramento em tempo real (CEPAL, 2021).

Além disso, os custos de compra e manutenção de equipamentos tecnológicos podem representar um obstáculo significativo, especialmente para pequenos produtores. Embora a digitalização ofereça ganhos potenciais, o investimento inicial pode dificultar sua adoção de forma mais ampla e equitativa (CEPAL, 2021).

Outro ponto relevante é à capacitação técnica. O uso eficiente das tecnologias digitais exige habilidades para interpretar dados e tomar decisões com base em informações analíticas. Sem a devida qualificação, há o risco de as ferramentas serem subutilizadas ou utilizadas de forma inadequada, comprometendo os resultados esperados (CEPAL, 2021).

Também existem discussões sobre a dependência tecnológica e a governança de dados. A concentração de dados agrícolas em plataformas privadas pode levantar questões relacionadas à segurança, à privacidade e ao gerenciamento das informações produtivas. Nesse contexto, a digitalização deve ser acompanhada de medidas que garantam transparência e proteção aos produtores (SANTOS, 2024).

Por fim, é importante considerar que a sustentabilidade da Agricultura Digital também envolve a análise do consumo de energia associado à infraestrutura tecnológica. Embora contribua para reduzir impactos diretos no campo, o processamento de grandes volumes de dados demanda energia, podendo gerar efeitos indiretos quando não há um planejamento adequado (SANTOS, 2024).

Dessa forma, a Agricultura Digital apresenta vantagens significativas para a gestão ambiental, especialmente em relação à eficiência, ao monitoramento e à rastreabilidade. No entanto, sua eficácia depende da superação de desafios estruturais, econômicos e sociais, além da adoção consciente e estratégica das tecnologias disponíveis.

5.5 Desafios e Perspectivas Futuras

Embora a Agricultura Digital tenha avançado na promoção de uma gestão ambiental mais eficiente, sua consolidação como ferramenta estratégica no setor agropecuário ainda enfrenta obstáculos estruturais, econômicos e institucionais. A transformação tecnológica no meio rural não ocorre de forma uniforme e depende de fatores que vão além da simples disponibilidade de ferramentas digitais (CEPAL, 2021).

Um dos principais obstáculos está relacionado à conectividade no meio rural. Tecnologias que utilizam a Internet das Coisas (IoT), monitoramento remoto e análise de dados em tempo real dependem de acesso à internet estável e de qualidade. Em diversas regiões do Brasil, a falta de infraestrutura digital compromete o funcionamento adequado desses sistemas, limitando sua capacidade de contribuir para a gestão ambiental (CEPAL, 2021).

A disponibilidade de capital para investimento é outro desafio relevante. A aquisição de sensores, softwares de gestão, sistemas de telemetria, drones e plataformas de análise de dados exige um investimento inicial significativo. Para muitos produtores, especialmente os de

pequeno e médio porte, o alto custo dessas tecnologias pode dificultar sua adoção.

Bolfe *et al.* (2020) apontam que fatores econômicos influenciam diretamente o nível de adoção de tecnologias digitais no campo, sendo o investimento inicial e a incerteza quanto ao retorno financeiro aspectos frequentemente considerados pelos produtores.

Em alguns contextos, o acesso ao crédito rural voltado à inovação tecnológica ainda é limitado. Muitas vezes, os produtores priorizam investimentos imediatos relacionados à manutenção da produção, adiando a adoção de ferramentas digitais. Nesse cenário, o avanço da Agricultura Digital como instrumento de gestão ambiental também depende de políticas públicas que incentivem o financiamento, a concessão de subsídios e programas voltados à modernização tecnológica (CEPAL, 2021).

Outro fator crucial é a capacitação técnica. O uso eficiente das ferramentas digitais exige a correta interpretação dos dados gerados e a integração dessas informações ao planejamento estratégico da propriedade. Sem a devida qualificação, há o risco de os sistemas serem subutilizados ou utilizados de forma inadequada, reduzindo seu potencial produtivo e ambiental (CEPAL, 2021).

Em relação às perspectivas futuras, observa-se uma tendência crescente de integração entre Inteligência Artificial, Big Data e sistemas automatizados de tomada de decisão. Pistori e Mollo Neto (2024) indicam que o desenvolvimento da Agricultura 4.0 caminha para cadeias produtivas cada vez mais integradas, com monitoramento contínuo e uso de algoritmos preditivos para otimizar recursos e antecipar riscos.

No entanto, a expansão da Agricultura Digital também exige atenção à governança e a proteção dos dados. A concentração de dados produtivos em plataformas digitais levanta questões relacionadas à privacidade, ao controle e ao uso estratégico dessas informações. Nesse contexto, o avanço tecnológico deve ser acompanhado por regulamentações e diretrizes que garantam transparência e proteção aos produtores (SANTOS, 2024).

Assim, os desafios e as perspectivas futuras da Agricultura Digital mostram que seu papel como instrumento estratégico para a gestão ambiental depende da integração entre inovação tecnológica, acesso a recursos financeiros, políticas públicas, capacitação técnica e compromisso com a sustentabilidade a longo prazo. A consolidação desse modelo vai além do avanço tecnológico, envolvendo também uma transformação estrutural no setor agropecuário.

6 CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho permitiu compreender que a Agricultura Digital tem se tornado uma importante aliada da gestão ambiental nas propriedades rurais. Por meio do uso de tecnologias como sensores, drones, inteligência artificial e sistemas de monitoramento, é possível acompanhar as atividades agrícolas com maior precisão, contribuindo para o uso mais eficiente dos recursos naturais e para a redução de impactos ao meio ambiente.

Ao longo da pesquisa, observou-se que essas tecnologias auxiliam os produtores na tomada de decisões, permitindo um melhor controle sobre o uso da água, dos fertilizantes e dos defensivos agrícolas. Além disso, ferramentas de monitoramento e rastreabilidade favorecem uma produção mais organizada e alinhada às exigências ambientais e de mercado.

Por outro lado, também foi possível identificar que a adoção dessas tecnologias ainda enfrenta algumas dificuldades, principalmente relacionadas à falta de conectividade em áreas rurais, aos custos de investimento e à necessidade de capacitação para utilização dos sistemas. Esses fatores mostram que a modernização do campo depende não apenas da disponibilidade das tecnologias, mas também de condições que permitam seu acesso e utilização de forma eficiente.

Dessa forma, conclui-se que a Agricultura Digital pode contribuir de maneira importante para a gestão ambiental nas propriedades rurais, auxiliando na busca por uma produção mais eficiente e sustentável. No entanto, para que seus benefícios sejam ampliados, é necessário incentivar o acesso às tecnologias, investir em infraestrutura e promover a qualificação dos produtores.

Por se tratar de uma pesquisa baseada em revisão bibliográfica, sugere-se que trabalhos futuros realizem estudos de campo ou estudos de caso, permitindo analisar na prática os resultados da utilização dessas tecnologias em diferentes realidades do setor agropecuário.

REFERÊNCIAS

- BOLFE, E. L.; *et al.* Precision and Digital Agriculture: Adoption of Technologies and Perception of Brazilian Farmers. **Agriculture**, v. 10, n. 653, p. 1-16, 2020.
- BOLFE, E. L. *et al.* **Agricultura Digital no Brasil: tendências, desafios e oportunidades**. Campinas: Embrapa, 2020. Relatório Técnico. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1127064> Acesso em: 14 mar. 2026.
- BUAINAIN, A. M.; CAVALCANTE, P.; CONSOLINE, L. **Estado atual da agricultura digital no Brasil: inclusão dos agricultores familiares e pequenos produtores rurais**. Santiago: CEPAL, 2021. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e5b766ce-7a5c-4171-9e14-c40a527b6b48/content>. Acesso em: 14 mar. 2026.
- CLERCQ, M.; VATS, A.; BEL, A. **Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology**. Dubai: World Government Summit; Oliver Wyman, 2018. Disponível em: <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2018/feb/agriculture-4-0--the-future-of-farming-technology.html> Acesso em: 21 mar. 2026.
- FAROOQ, M. S. *et al.* A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming. **IEEE Access**, v. 7, p. 156237–156271, 2019.
- KELLERMANN, K. *et al.* Digital transformation in supply chains: current state and future research directions. **International Journal of Production Research**, 2021.
- MAFFEZZOLI, F. *et al.* Agriculture 4.0: A systematic literature review on the paradigm, technologies and benefits. **Futures**, v. 138, 2022.
- PISTORI, E. M. L.; MOLLO NETO, M. Agricultura 4.0: transformação digital na cadeia produtiva para eficiência e sustentabilidade no setor agroindustrial. **Revista Aracê**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 4, p. 13579–13603, 2024.
- REJEB, A.; KEOGH, John G.; TREIBLMAIER, H. Leveraging the internet of things and blockchain technology in supply chain management. **Future Internet**, v. 11, n. 7, p. 161, 2019.
- ROCHA, G. S. R.; OLIVEIRA, L.; TALAMINI, E. Blockchain applications in agribusiness: A systematic review. **Future Internet**, v. 13, n. 4, p. 95, 2021.
- SANTOS, F. R. A. **Impacto da agricultura digital na sustentabilidade**. 2024. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo, 2024. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/123456789/17680/1/Impacto%20da%20agricultura%20digital%20na%20sustentabilidade> Acesso em: 14 mar. 2026.
- SANYAOLU, M.; SADOWSKI, A. **The Role of Precision Agriculture Technologies in Enhancing Sustainable Agriculture**. Sustainability, v. 16, 2024.