

O CRESCIMENTO DA TECNOLOGIA E SEUS IMPACTOS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Rogério Oliveira Cabral
Graduando em Sistemas de Informação – Uni-FACEF
rogerio.cabral2002@gmail.com

Carlos Eduardo de França Roland
Docente do Departamento de Computação – Uni-FACEF
roland@facef.br

Resumo

Este artigo relata o estudo da adoção de tecnologias da Agricultura de Precisão em propriedades rurais localizadas nos municípios de Delfinópolis (MG) e Sertãozinho (SP). A pesquisa foi de caráter qualitativo e descritivo, realizada por meio de questionário aplicado a dez produtores de diferentes perfis. Os resultados mostraram que tecnologias como drones, GPS e sistemas de irrigação automatizada estão entre as mais utilizadas, contribuindo diretamente para o aumento da produtividade, a sustentabilidade e o controle mais eficiente das lavouras. Por outro lado, também foram identificados desafios relevantes, como o alto custo de aquisição e manutenção, a falta de mão de obra qualificada e as limitações de infraestrutura rural. A partir desse diagnóstico, foram propostas ações práticas, como programas de capacitação com linguagem acessível, divulgação de soluções tecnológicas de baixo custo e acompanhamento técnico contínuo. O estudo reforça a importância da Agricultura de Precisão como ferramenta estratégica para modernizar o campo e aponta caminhos para uma adoção tecnológica mais inclusiva e sustentável.

Palavras-chave: agricultura de precisão; tecnologias agrícolas; drones; inovação no campo; sustentabilidade; produtores rurais, agricultura digital; desenvolvimento rural.

Abstract

This article reports on the adoption of Precision Agriculture technologies on rural properties in the municipalities of Delfinópolis (MG) and Sertãozinho (SP). The research followed a quantitative and descriptive approach, based on a questionnaire applied to ten farmers with different profiles. The results revealed that technologies such as drones, GPS mapping, and automated irrigation systems are among the most widely used, contributing directly to increased productivity, sustainability, and more efficient crop management. On the other hand, significant challenges were also identified, including high acquisition and maintenance costs, lack of qualified labor, and limited rural infrastructure. Based on this diagnosis, practical actions were proposed, such as training programs with accessible language, dissemination of low-cost technological solutions, and continuous technical support. The study reinforces the role of Precision Agriculture as a strategic tool for the modernization of farming and highlights pathways toward a more inclusive and sustainable technological adoption in Brazilian agriculture.

Keywords: precision agriculture; agricultural technologies; drones; digital farming; sustainability; rural producers; smart farming; rural development.

1 Introdução

A agricultura tem vivido um processo contínuo de transformação, impulsionado principalmente pela incorporação de tecnologias digitais no campo. O uso crescente de drones, sensores, sistemas de geolocalização e softwares de monitoramento demonstra como o setor está se adaptando aos desafios contemporâneos de produtividade, sustentabilidade e gestão eficiente dos recursos. Nesse contexto, a Agricultura de Precisão (AP) tem se consolidado como uma das principais estratégias para otimizar o desempenho das propriedades rurais, permitindo decisões mais assertivas com base em dados.

Apesar dos avanços, a realidade da adoção tecnológica no meio rural brasileiro ainda é bastante desigual. Enquanto algumas propriedades já operam com sistemas automatizados e coleta de dados em tempo real, produtores rurais, independentemente do porte de suas propriedades, lidam com barreiras como os altos custos de aquisição, a falta de mão de obra qualificada, a carência de suporte técnico e a infraestrutura rural limitada. Essa dificuldade torna a adoção de tecnologias algo desigual e, muitas vezes, inacessível para parte do setor.

Nesse cenário, este artigo tem como objetivo apresentar os estudos e análises da adoção da tecnologia na agricultura de precisão em propriedades rurais de médio e pequeno portes, por meio de um diagnóstico prático, com base em dados coletados via questionário aplicado a produtores de diferentes perfis. A partir dessa análise, buscou-se compreender os principais desafios enfrentados no campo e, sobretudo, propor ações práticas e acessíveis que contribuam para ampliar o uso da tecnologia no meio rural. A proposta central foi oferecer caminhos viáveis, como capacitação, apoio técnico e divulgação de soluções de baixo custo, que possam incentivar a transformação digital da agricultura de forma mais inclusiva, eficiente e sustentável.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a revisão teórica sobre Agricultura de Precisão, contextualizando suas origens, evolução e relação com a Indústria 4.0. A Seção 3 descreve as ferramentas e métodos empregados na pesquisa. A 4 apresenta a análise dos dados obtidos com os produtores rurais. E, por fim, a 5 propõe ações práticas para incentivar a inclusão tecnológica no setor agrícola, com foco em capacitação, acesso e suporte técnico.

2 Agricultura de Precisão (AP)

Agricultura de Precisão envolve o uso de tecnologias para coletar dados da lavoura, permitindo uma gestão agrícola mais eficiente e resultando em maior produtividade (Getahun, Kefale, e Gelaye, 2024).

Embora estudos indiquem que a agricultura de precisão surgiu na década de 1990 com o avanço das tecnologias de satélite, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) sugere que práticas similares já existiam antes da Revolução Industrial, quando se utilizavam métodos para otimizar os recursos disponíveis, considerando fatores como geografia, relevo e tipos de solo (Souza, Kohle, e Silva, 2024).

Segundo a Embrapa, a tecnologia moderna associada à agricultura de precisão só se tornou viável a partir dos anos 1980, com a criação de microcomputadores, sensores e softwares (Souza, Kohle, e Silva, 2024). No entanto, empresas como Bosch e MPagro indicam que a consolidação dessa prática ocorreu nos anos 1990, com a aplicação de geolocalização para mapear o solo e o uso de

maquinário agrícola equipado para analisar a topografia, o pH e os nutrientes do solo (Estadão, 2022).

Com o avanço dessas ferramentas, a AP passou a se integrar naturalmente a chamada agricultura digital, que amplia o potencial de coleta e análise de dados, para otimizar a produção e promover a sustentabilidade no campo. O Brasil ocupa o terceiro lugar em produção científica sobre o tema, segundo a base de dados Scopus, conforme o Laboratório de Agricultura de Precisão (LAP) (Rodrigues e Geron, 2023).

O uso de informações precisas permite ao agricultor gerenciar sua lavoura de maneira detalhada, facilitando o monitoramento das atividades agrícolas. Esse processo contribui para manejo mais eficiente do solo e dos insumos, levando em consideração fatores como tempo, clima e outras variáveis essenciais para a produtividade. Entretanto, a técnica vai além da simples aplicação de tratamentos em áreas isoladas, reconhecendo que cada parte da propriedade possui características distintas. O sistema permite que as tecnologias distribuam os insumos no local exato, no momento ideal e na quantidade necessária, garantindo eficiência produtiva sem causar impactos negativos ao meio ambiente ou à colheita. Isso se deve ao fato de que cada parcela do solo apresenta diferentes propriedades físicas, químicas e biológicas, caracterizando sua variabilidade e determinando seu potencial produtivo (Cazale e Cazale, 2023).

Essa compreensão detalhada do solo permite que os dados coletados sejam transformados em ações práticas, como a geração de mapas de prescrição, que indicam as diferentes zonas de manejo dentro da propriedade, determinando onde, quando e como os insumos devem ser aplicados. Esse processo garante precisão e eficiência, reduzindo desperdícios e maximizando a produtividade da área (Rodrigues e Geron, 2023).

O agronegócio vai além de uma atividade isolada no campo, sendo um conjunto de ações inseridas em uma cadeia de produção que ultrapassa cercas e cancelas. Sua trajetória remonta ao século XVI, no contexto da colonização da América. Ao longo da história, o mundo tem passado por constantes evoluções, e a tendência é que a inovação, as tecnologias e a busca por diferenciais competitivos continuem avançando (Guarizi e Funichello, 2022).

Nesse cenário, o agronegócio se fortalece como um setor estratégico para impulsionar essas transformações. Atualmente, não basta apenas produzir e comercializar para consumidores ou para o mercado atacadista e varejista. Para que um agricultor se destaque no setor, conquistando vantagem competitiva e alcançando o lucro desejado, é essencial estabelecer metas claras, adotar boas práticas de governança e investir na produtividade. Para isso, o planejamento estratégico se torna uma ferramenta importante (Guarizi e Funichello, 2022).

A consolidação desse planejamento, no entanto, foi sendo construída ao longo das décadas. Entre os anos 1960 e 1980, por exemplo, incentivos ao crédito rural e a modernização das práticas agrícolas permitiram a coleta de mais dados sobre solo e clima, contribuindo para o desenvolvimento da agricultura de precisão. Além disso, programas como o PROÁLCOOL destacaram a importância da inovação tecnológica no setor de biocombustíveis (Santos, 2024).

Ferneda e Ruffoni (2019) mostraram os aparatos políticos mais próximos à adesão dessas tecnologias no país. Participaram da elaboração dos programas o Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI) e o Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), que destacaram o

desenvolvimento do Plano Nacional de Manufatura Avançada e do Plano Nacional de Internet das Coisas (IoT). Esses estudos, conduzidos em âmbito nacional, contaram com a colaboração de especialistas, institutos de pesquisa, universidades e empresas privadas, em uma estratégia que visou identificar oportunidades para o Brasil em diversos setores da economia. De acordo com o Plano Nacional de Manufatura Avançada, o objetivo central é criar estratégias de estímulo à modernização industrial, por meio da robótica, informática, internet das coisas e nanotecnologia aplicadas aos processos produtivos. Já o Plano Nacional de Internet das Coisas busca acelerar a implantação dessa tecnologia como instrumento de desenvolvimento sustentável no país, promovendo a competitividade da economia, o fortalecimento das cadeias produtivas nacionais e a melhoria da qualidade de vida da população. Cabe destacar que ambos os planos apresentam diretrizes abrangentes, que visam orientar políticas públicas e investimentos em inovação tecnológica no Brasil.

Pesquisadores da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri - UNICAMP) desenvolveram sistemas que permitem a criação de mapas de produtividade, fundamentais para a agricultura de precisão. Segundo Cléber Manzoni, diretor da Enalta, empresa brasileira de exploração e produção de petróleo e gás natural, os mapas de produtividade são essenciais para identificar áreas de maior e menor desempenho, facilitando a gestão do manejo (Otaviano, 2017).

Os benefícios da AP são evidentes no controle operacional das atividades agrícolas, não apenas melhorando a produtividade, mas também reduzindo custos operacionais e minimizando o impacto ambiental. Por meio da aplicação de técnicas de manejo sítio-específico, os agricultores podem ajustar a aplicação de insumos de acordo com as necessidades específicas de cada área da lavoura, resultando em uma maior homogeneidade na fertilidade do solo e na saúde das plantas. Isso se traduz em um aumento significativo da rentabilidade e da sustentabilidade das operações agrícolas, alinhando-as às demandas crescentes por alimentos em um cenário de recursos naturais limitados (Araújo *et al.*, 2024).

Tais recursos tecnológicos, como por exemplo os mapas de produtividade, representam apenas uma parte do potencial da Agricultura de Precisão. Com a integração de tecnologias ainda mais avançadas, como a inteligência artificial e o aprendizado de máquina, a gestão agrícola tende a se tornar ainda mais eficiente e adaptável às condições de campo.

2.1 Aspectos da Indústria 4.0 e sua Integração com a Agricultura de Precisão

O termo Indústria 4.0 refere-se a um novo estágio de evolução tecnológica, descrito por Schwab (2016) como a "quarta revolução industrial". A primeira revolução industrial, ocorrida no século XVIII, marcou a transição de uma economia agrícola para um modelo industrial. A segunda revolução trouxe a eletricidade como nova fonte de energia, substituindo a força da água e do vapor (Souza *et al.*, 2024).

A Indústria 4.0 é definida pelo uso de um conjunto de tecnologias que permitem a produção em fábricas inteligentes, com comunicação e troca de dados em tempo real entre as máquinas, possibilitando a criação de valor e novos modelos de negócios (Ferneda e Ruffoni, 2019). Entre essas tecnologias estão o *big data*, robôs autônomos, sistemas de simulação e integração, IoT, segurança cibernética, computação em nuvem, manufatura aditiva, realidade aumentada, *blockchain*, drones, aprendizado de máquina, sensores remotos e impressão 3D (Rubamann *et al.*, 2015).

De forma semelhante, a evolução da agricultura ocorreu gradualmente ao longo do tempo, sendo dividida em quatro fases, da Agricultura 1.0 à Agricultura 4.0. A Agricultura 1.0 refere-se à fase pré-industrial, as técnicas eram rudimentares, focadas no cultivo manual e em sistemas de rotação de culturas, com pouca ou nenhuma mecanização. A Agricultura 2.0 surgiu com a Revolução Industrial, houve uma mecanização mais intensa, que reduziu a necessidade de mão de obra e permitiu o cultivo de áreas maiores, aumentando a eficiência da produção. A Agricultura 3.0, ou a chamada Revolução Verde, ganhou força na segunda metade do século XX, com a introdução de novas tecnologias, como tratores avançados, colheitadeiras, sistemas de irrigação modernos e o uso intensivo de fertilizantes sintéticos e defensivos agrícolas. A Agricultura 4.0, a fase mais recente, integra tecnologias digitais e avanços da Indústria 4.0 ao setor agrícola (Liu *et al.*, 2021). A agricultura de precisão utiliza essas tecnologias para melhorar a gestão dos dados e a comunicação entre os serviços no campo. A escolha das tecnologias mais adequadas depende da atividade econômica, inovação e mão de obra, garantindo a integração eficiente dos processos (Ferneda e Ruffoni, 2019).

A evolução tecnológica ao longo dos anos sempre trouxe grandes impactos sobre a produtividade na agricultura brasileira, como demonstrado, por exemplo, pela Revolução Verde. No contexto da Indústria 4.0, os benefícios tendem a ser ainda maiores, com a implementação de inovações como estufas inteligentes, controle automatizado de irrigação, monitoramento climático remoto, uso de drones para fertilização e diagnóstico automatizado de pragas e doenças (Zanuto, 2024).

O avanço da agricultura digital destaca o potencial para elevar o setor a um novo patamar tecnológico. Isso inclui contribuições como Agricultura 4.0, Agricultura Digital (Queiroz *et al.*, 2022), Agricultura 5.0 (Leite, Borém, e Borges Júnior, 2023), Agricultura 4.0 (Dias *et al.*, 2023), Digital Farming (Dörr, Nachtmann, 2022). Nesse cenário, a transformação digital e a influência da Indústria 4.0 estão no centro das mudanças, promovendo inovações nos sistemas de produção e organização da sociedade (Inamasu *et al.*, 2024).

Grandes corporações do agronegócio têm se engajado na Agricultura 4.0. A Bayer, líder em insumos agrícolas, investe em inovação digital no setor, com iniciativas como o Bayer Valora Milho, que demonstrou aumento de produtividade em 70% dos produtores que aderiram ao programa na safra de inverno de 2023, com uma média de ganho de 4% (Zanuto, 2024). Além disso, a plataforma digital Climate FieldView, também da Bayer, auxilia os produtores no monitoramento e análise de dados no campo, resultando em um aumento médio de 7 sacas de soja por hectare em relação à média nacional (Bayer, 2024; Zanuto, 2024).

Exemplo de grandes corporações que investem na Agricultura 4.0 é a Syngenta, uma das líderes em inovação no setor, que desenvolveu um sistema de IA Generativa que auxilia os produtores nas tomadas de decisão a partir de dados, otimizando o rendimento das culturas e melhorando a sustentabilidade. Por meio da utilização dos modelos de recomendação, a empresa projeta um aumento nos rendimentos dos produtores de até 5% (Syngenta, 2024; Zanuto, 2024).

As condições climáticas têm grande impacto sobre a agricultura, influenciando o desenvolvimento das culturas e a interação com pragas e doenças. O monitoramento agrometeorológico, que envolve a coleta de dados climáticos em tempo real, é fundamental para aprimorar diversas práticas agrícolas, como preparo do solo, irrigação e controle fitossanitário. Além disso, estimativas de produtividade e

riscos de doenças dependem fortemente desses dados (Soares, Patrocínio, e Silva, 2017).

Diante desse cenário de avanços tecnológicos impulsionados pela Indústria 4.0, a agricultura tem passado por uma transformação significativa, tornando-se cada vez mais digital, automatizada e eficiente. A adoção dessas tecnologias não apenas melhora a produtividade e a sustentabilidade da produção agrícola, mas também amplia as possibilidades de inovação no setor. No entanto, apesar das inúmeras vantagens, ainda existem desafios a serem superados, como a necessidade de infraestrutura adequada, capacitação de profissionais e acessibilidade financeira para pequenos e médios produtores. À medida que a convergência entre agricultura e tecnologia continua a evoluir, a tendência é que novas soluções surjam para otimizar ainda mais o desempenho do agronegócio, consolidando a Agricultura 4.0 como um pilar essencial para o futuro do setor.

2.2 . Evolução das Máquinas e Equipamentos Agrícolas

A indústria brasileira de máquinas e implementos agrícolas foi amplamente impulsionada por empresas familiares de capital nacional, com maior concentração nas regiões Sul e Sudeste. De acordo com Vieira *et al.* (2018), o crescimento significativo do agronegócio após a implementação do Plano Real fez dessa indústria um componente fundamental para a modernização da mecanização agrícola, promovendo avanços nos processos de preparo do solo, plantio e manejo das culturas (Guarizi e Funichello, 2022).

Segundo Vieira *et al.* (2018), o ano de 2016 marcou uma nova fase para as máquinas e implementos agrícolas, com inovações tecnológicas significativas e a incorporação de sistemas eletrônicos, incluindo o piloto automático. A próxima etapa desse desenvolvimento deverá priorizar a conectividade entre máquinas, promovendo transformações no trabalho agrícola. O Quadro 1 mostra a evolução das máquinas e equipamentos agrícolas (Guarizi e Funichello, 2022).

A produção industrial tem avançado na integração de hardware de alta tecnologia, incluindo os equipamentos e dispositivos eletrônicos utilizados no agronegócio, como tratores, colheitadeiras, semeadoras e irrigadores. As soluções atuais de AP, oferecidas pelas agtechs, já permitem a integração de veículos agrícolas automatizados com outros componentes, controlados por aplicativos de software embarcados e outros dispositivos de controle. Esses sistemas são auxiliados pela navegação no campo por GPS, redes sem fio, identificação por rádio frequência (RFID), e integram-se com dispositivos de IoT e georreferenciamento via drones ou satélites, permitindo a coleta de dados em tempo real e reduzindo a intervenção humana local (Chakraborty *et al.*, 2022; Garcia *et al.*, 2024; Mudholkar e Mudholkar, 2024).

Entre as vantagens dessa tecnologia para as atividades no campo, como preparação do solo, plantio, irrigação, colheita e transporte, destacam-se a redução da necessidade de mão de obra, além de ganhos em eficiência e produtividade, devido à rapidez e precisão na identificação e intervenção em ocorrências como doenças, pragas, deficiências de solo e plantas, estresse hídrico, e nos processos de colheita e transporte. Isso se torna possível graças ao diagnóstico e ajustes rápidos. No entanto, as desvantagens incluem os altos custos de aquisição, principalmente quando se trata de importação ou manutenção dos equipamentos, além da necessidade de pessoal especializado, o que representa uma barreira para a utilização por produtores rurais.

Os desafios também envolvem a complexidade de integrar os diferentes componentes da tecnologia, bem como as dificuldades de financiamento (Garcia et al., 2024).

Quadro 1 – Evolução das tecnologias na agricultura

Recurso	Avanços
Tratores	Tratores cada vez mais completos com baixo consumo de combustível e alta produtividade
Semeadores	Alta produtividade, diversidade de modelos e configurações que se adaptam a todas as condições
Colheitadeiras	As colheitadeiras modernas oferecem alto desempenho sem danificar a qualidade do vegetal
Pulverizadores	Eficiência e economia, com aplicações uniformizadas

Fonte: adaptado de Guarizi e Funichello (2022)

O progresso das tecnologias de informação e comunicação também se acelerou, possibilitando o monitoramento remoto do desempenho dos equipamentos no campo. A telemetria e a transmissão automática de dados permitem o envio de informações em tempo real para dispositivos como computadores, *tablets* e *smartphones* (Guarizi e Funichello, 2022).

Na década de 1990, a indústria global de máquinas agrícolas passou por significativa transformação conceitual e tecnológica, resultando no surgimento de nova geração de equipamentos (Vieira et al., 2018). Em 1994, a estabilização econômica promovida pelo Plano Real favoreceu a reestruturação do setor no Brasil, aumentando a demanda do agronegócio e estimulando o crescimento da indústria nacional (Guarizi e Funichello, 2022).

Dessa forma, fica evidente que a indústria brasileira de máquinas e implementos agrícolas tem um papel fundamental na modernização do agronegócio, impulsionada por avanços tecnológicos e pela crescente digitalização dos processos. A conectividade entre máquinas, o uso de sensores inteligentes e a automação vêm transformando as práticas agrícolas, tornando-as mais eficientes e precisas. No entanto, desafios como os altos custos de aquisição, a necessidade de infraestrutura tecnológica adequada e a capacitação de profissionais ainda representam barreiras à adoção em larga escala. Assim, para que o setor continue evoluindo e atendendo às demandas da agricultura de precisão, é essencial o desenvolvimento de políticas

públicas voltadas ao incentivo da inovação e ao financiamento de novas tecnologias, garantindo a competitividade e a sustentabilidade da produção agrícola no Brasil.

3 Ferramentas e Métodos

Este estudo foi desenvolvido por meio de uma pesquisa de campo com abordagem qualitativa e caráter descritivo, com o objetivo de mensurar o grau de adoção de tecnologias ligadas à Agricultura de Precisão por produtores rurais. Para isso, foi utilizado um questionário estruturado, elaborado na plataforma Google Forms e aplicado entre os dias 20 de março e 23 de abril de 2025. A divulgação ocorreu por meio do aplicativo WhatsApp, alcançando 17 produtores rurais, dos quais 10 responderam integralmente, compondo a amostra analisada.

A escolha dos municípios de Delfinópolis (MG) e Sertãozinho (SP) baseou-se em critérios de acessibilidade, vínculo direto com os produtores e relevância econômica regional. Delfinópolis está localizada no sudoeste de Minas Gerais, uma região caracterizada pela diversidade de cultivos e crescente presença de pequenas e médias propriedades agrícolas. Sertãozinho, por sua vez, está inserido no interior paulista e se destaca pela expressiva produção canavieira e pelo uso intensivo de tecnologias no setor sucroenergético.

O questionário foi dividido em duas seções. A primeira reuniu informações sobre o perfil dos produtores, como faixa etária, porte da propriedade e cultura predominante. A segunda tratou do uso de tecnologias no campo, abordando os seguintes aspectos: (a) utilização atual de ferramentas tecnológicas; (b) tecnologias já experimentadas; (c) benefícios percebidos com o uso de tecnologia; (d) principais dificuldades enfrentadas na adoção tecnológica; e (e) interesse em incorporar novas soluções tecnológicas no futuro.

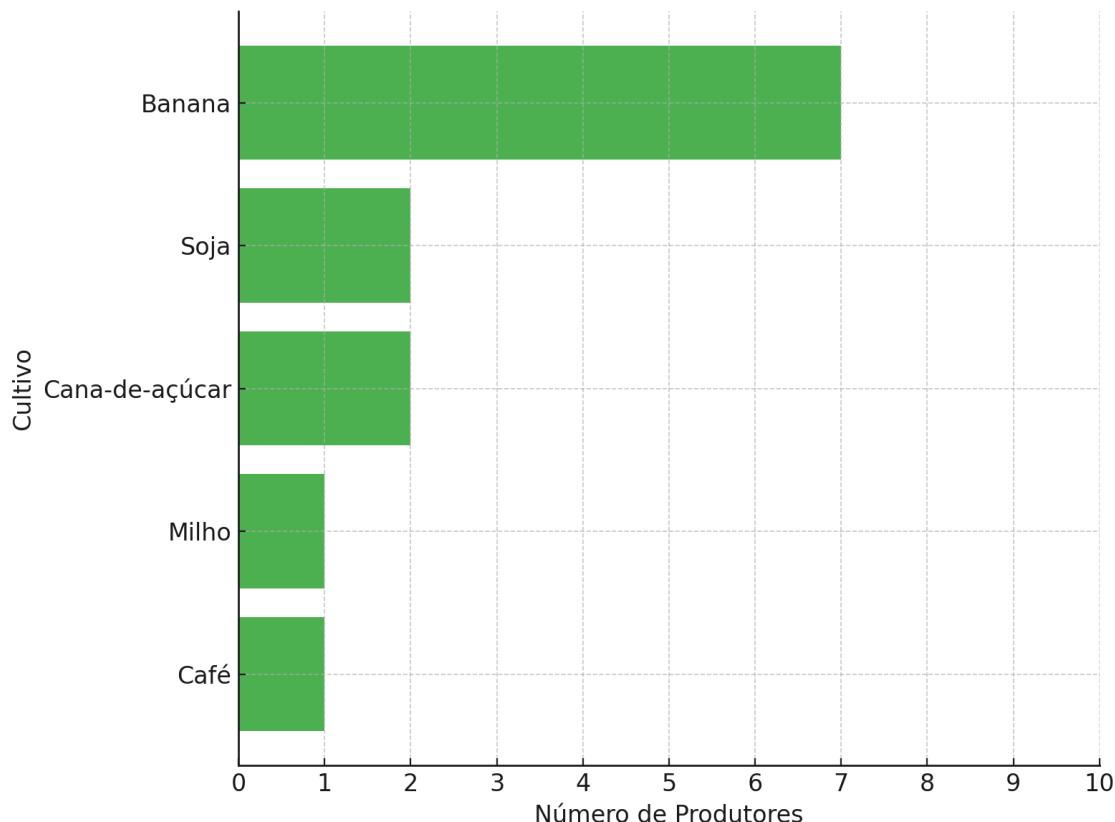
Com base nas respostas obtidas, foi possível observar a diversidade dos tipos de cultivo praticados pelos produtores participantes. A cultura da banana foi a mais mencionada, com presença em 7 propriedades, seguida pela soja (2), cana-de-açúcar (2), milho (1) e café (1). A visualização da distribuição por tipo de cultivo pode ser observada no Gráfico 1.

A amostra, embora reduzida, oferece uma visão factual das realidades enfrentadas por produtores com perfis distintos, especialmente no contexto da adoção de tecnologias digitais em pequenas e médias propriedades. Esses dados servirão como base para a análise e proposição de ações mais direcionadas ao fortalecimento da Agricultura de Precisão nessas localidades.

4 Análise dos Resultados

A pesquisa foi realizada com o objetivo de quantificar o grau de adoção tecnológica entre produtores rurais localizados nos municípios de Delfinópolis (MG) e Sertãozinho (SP), ambos inseridos em regiões de forte relevância econômica para o agronegócio. Delfinópolis integra o Sudoeste de Minas Gerais, região conhecida por sua produção agrícola diversificada, destacando-se na fruticultura e na cafeicultura. Já Sertãozinho pertence ao interior do Estado de São Paulo e é referência nacional no setor sucroenergético, com alto grau de mecanização e inovação tecnológica.

Gráfico 1 – Principais Cultivos dos Produtores Participantes



Fonte: os autores

Segundo o Censo Agropecuário 2017 (IBGE, 2019), Minas Gerais conta com mais de 580 mil estabelecimentos agropecuários, dos quais cerca de 75% são classificados como pequenas propriedades. No Estado de São Paulo, há cerca de 330 mil propriedades, com uma proporção menor de pequenas propriedades, mas com forte presença de produtores de médio porte. A escolha das duas regiões, portanto, contribui para uma amostra com perfis produtivos distintos e representativos.

A amostra coletada totalizou 10 produtores rurais que responderam integralmente ao questionário, representando 58,8% da amostra constatada inicialmente (17 produtores). A análise estatística foi organizada em três blocos principais: (a) tecnologias utilizadas; (b) benefícios percebidos; (c) principais desafios enfrentados. Os dados foram tratados de forma quantitativa com apresentação em quadros e gráficos.

4.1 Tecnologias Utilizadas

A análise das respostas coletadas revelou um panorama diversificado quanto à adoção de tecnologias na Agricultura de Precisão, refletindo tanto os avanços quanto as desigualdades no uso de inovações no meio rural. Dos dez produtores participantes da pesquisa, oito (80%) declararam utilizar alguma tecnologia em suas propriedades, enquanto dois (20%) afirmaram não fazer uso de nenhuma ferramenta tecnológica atualmente. Apesar disso, mesmo entre os que ainda não

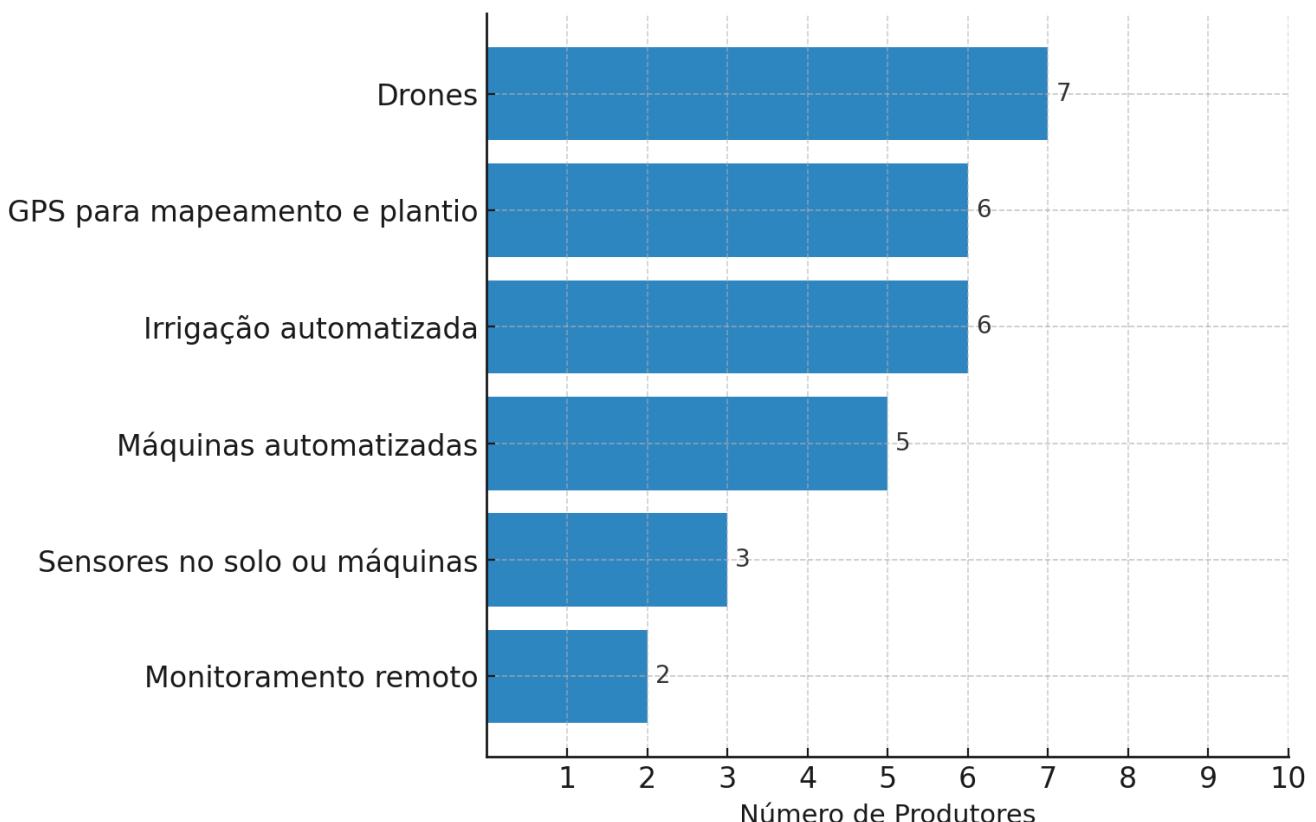
utilizam, observou-se interesse e reconhecimento dos benefícios potenciais, o que sinaliza uma abertura para futuras adoções.

Conforme apresentado no Gráfico 2, drones são a tecnologia mais citada, sendo utilizados por 70% dos respondentes. Em seguida, aparecem o GPS para mapeamento e plantio e os sistemas de irrigação automatizada, ambos com 60% de adesão. Já máquinas automatizadas foram relatadas por 50% dos produtores, enquanto tecnologias mais específicas, como sensores no solo ou nas máquinas e monitoramento remoto via celular ou computador, foram mencionadas por apenas dois participantes.

A escolha dessas tecnologias também está relacionada aos cultivos predominantes nas propriedades. O uso de drones, por exemplo, é especialmente eficaz na agroindústria, pois permite o monitoramento aéreo e o mapeamento de pragas e doenças com maior precisão.

A baixa adesão a tecnologias mais avançadas pode ser atribuída a fatores como custos elevados, necessidade de mão de obra qualificada e infraestrutura rural limitada. A presença de dois produtores que não utilizam nenhum tipo de tecnologia reforça essa realidade, indicando que ainda há uma parcela significativa do setor que encontra barreiras para se integrar à Agricultura 4.0.

Gráfico 2 – Tecnologias utilizadas pelos produtores rurais



Fonte: os autores

De forma geral, os resultados evidenciam que a tecnologia já está presente no cotidiano de grande parte dos produtores. No entanto, o nível de

complexidade e aprofundamento no uso dessas ferramentas varia bastante. Enquanto alguns utilizam soluções mais avançadas e conectadas, outros ainda estão em estágios iniciais de digitalização. Essa diferença de maturidade tecnológica aponta para a importância de investimentos em capacitação, apoio técnico e infraestrutura digital no campo.

4.1.1 Drones como ferramenta estratégica na transição tecnológica do campo

Entre as tecnologias mencionadas pelos produtores, os drones foram os mais citados, aparecendo em sete das dez respostas obtidas na pesquisa. Esse resultado confirma a crescente presença dessa ferramenta no cotidiano das atividades agrícolas, especialmente em propriedades de médio porte e com maior abertura à inovação tecnológica.

O uso de drones no campo tem se destacado por sua versatilidade, precisão e acessibilidade, sendo empregados principalmente no monitoramento visual das lavouras, levantamento de dados topográficos e, em alguns casos, na aplicação localizada de defensivos agrícolas. A popularização desses equipamentos também se deve ao aumento da oferta no mercado, com modelos mais leves e de menor custo, facilitando sua aquisição por produtores em regiões como Delfinópolis (MG) e Sertãozinho (SP).

Embora os participantes do estudo não tenham detalhado diretamente as finalidades do uso dos drones em suas propriedades, dados de mercado e estudos de caso do setor agrícola reforçam sua relevância prática. Um exemplo notável é o da Tereos, uma das maiores produtoras de açúcar e etanol do país, que adotou drones para substituição parcial de aviões agrícolas na pulverização de agentes biológicos contra pragas. A empresa, que atua em mais de 170 mil hectares no interior de São Paulo, reportou uma economia de R\$250 por hectare e aumento de 30% na cobertura da área tratada, ao utilizar drones para combater a broca-da-cana, uma das pragas mais danosas à cultura (NovaCana, 2025).

Além da economia, a empresa destacou a eficiência e a precisão como diferenciais: os drones permitiram a aplicação direcionada apenas onde realmente necessário, baseada em mapas prévios e imagens aéreas, reduzindo o desperdício de insumos e minimizando o impacto ambiental. O uso da tecnologia também viabilizou o atendimento de áreas que antes eram inacessíveis a aviões, como regiões próximas a centros urbanos ou pequenas propriedades.

Portanto, os drones têm se consolidado como uma porta de entrada importante para a Agricultura de Precisão, sendo uma tecnologia que alia baixo custo relativo, usabilidade simplificada e impacto direto na gestão agrícola. Seu potencial para transformar práticas tradicionais em operações mais estratégicas e sustentáveis torna-os protagonistas na transição tecnológica do campo.

4.2 Benefícios percebidos com o uso da tecnologia

A partir da análise das respostas coletadas no questionário, foi possível identificar os principais benefícios percebidos pelos produtores rurais com a adoção de tecnologias agrícolas. Entre os dez participantes da pesquisa, oito afirmaram utilizar algum tipo de tecnologia em suas atividades, sendo que sete deles relataram ganhos diretos em pelo menos um aspecto produtivo ou gerencial.

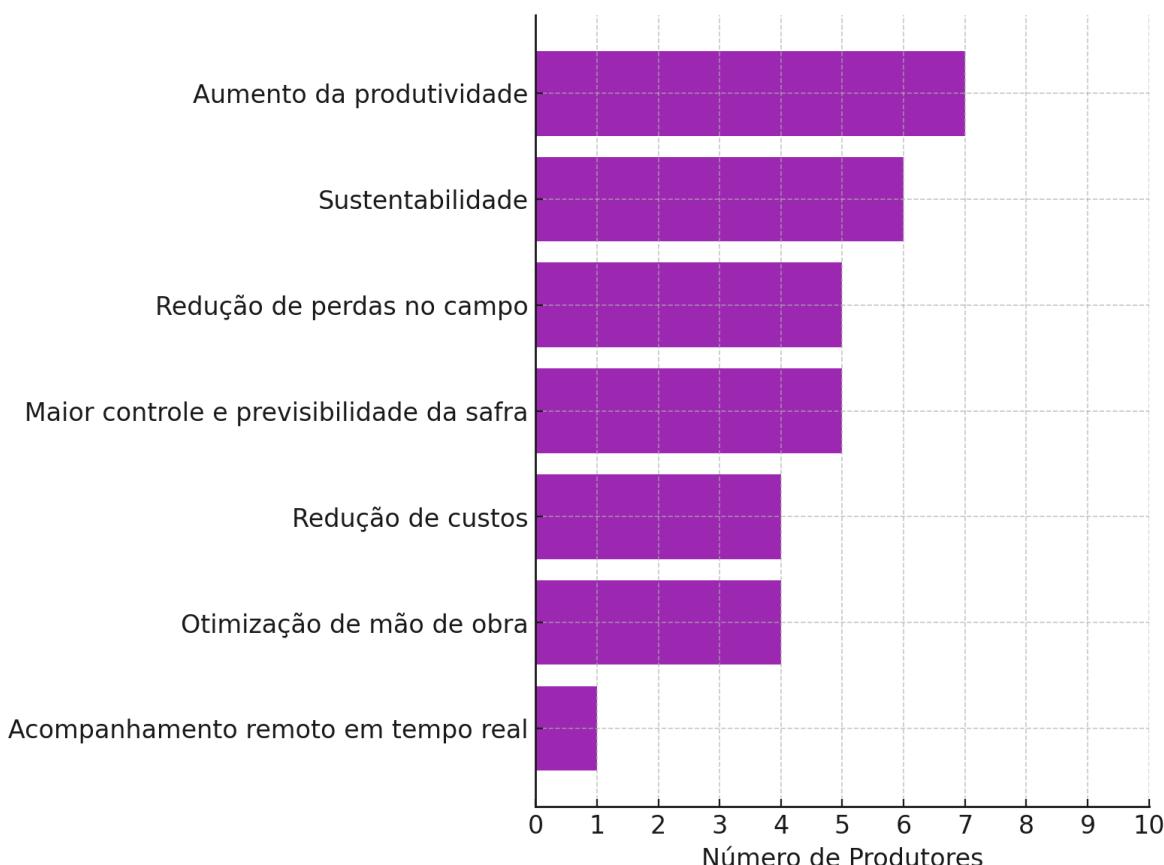
O benefício mais citado foi o aumento da produtividade, mencionado por 7 dos 8 produtores que utilizam tecnologia (87,5%). Esse dado evidencia a relação direta entre o uso de ferramentas como GPS, drones e irrigação automatizada e a melhora nos índices de produção agrícola, especialmente em propriedades com maior estrutura organizacional.

Em segundo lugar, com 5 menções (62,5%), está a sustentabilidade ambiental, resultado da aplicação de tecnologias que permitem um uso mais racional dos recursos naturais, como sensores de umidade, monitoramento climático remoto e irrigação inteligente.

A redução de perdas na lavoura e o maior controle sobre o processo produtivo foram destacados por 4 produtores (50%), apontando para um ganho na gestão da lavoura e no planejamento das safras, com base em dados e indicadores objetivos.

A visualização consolidada desses dados pode ser conferida no Gráfico 3, que apresenta a frequência das respostas relacionadas aos principais benefícios percebidos com a adoção tecnológica.

Gráfico 3 – Benefícios percebidos com uso da tecnologias agrícolas



Fonte: os autores

De forma geral, os resultados confirmam que a adoção tecnológica tem impactado positivamente a realidade dos produtores rurais entrevistados, contribuindo não apenas para a elevação da produtividade, mas também para o aprimoramento da gestão e da sustentabilidade das propriedades. Tais evidências reforçam a

importância do incentivo à ampliação do uso de tecnologias no campo, especialmente em regiões com potencial produtivo ainda não totalmente explorado.

4.3 Principais desafios enfrentados

Apesar dos avanços no uso de tecnologias no meio rural, a pesquisa revelou diversos obstáculos enfrentados pelos produtores, os quais dificultam ou limitam o aproveitamento pleno dessas ferramentas. Esses entraves foram identificados por meio da análise das respostas de dez participantes, permitindo uma visão quantitativa e concreta das principais barreiras enfrentadas no processo de adoção tecnológica.

O Gráfico 4 ilustra a distribuição percentual das dificuldades relatadas. O custo elevado de aquisição e manutenção das tecnologias apareceu como o principal fator limitante, citado por sete produtores (70%). Esse dado indica que, mesmo com o potencial de retorno a longo prazo, o investimento inicial ainda é um desafio significativo, principalmente para propriedades de menor porte ou com recursos financeiros limitados.

Gráfico 4 – Principais desafios na adoção de tecnologias agrícolas



Fonte: os autores

A falta de mão de obra qualificada foi mencionada por cinco participantes (50%), evidenciando que a barreira não está apenas na compra do equipamento, mas

na operação eficiente e técnica das ferramentas. Essa dificuldade se relaciona diretamente com outro ponto citado: a carência de capacitação técnica, presente em quatro respostas (40%), o que aponta para a urgência de programas de formação e assistência no campo.

Outros fatores destacados foram o acesso limitado à internet e infraestrutura de comunicação deficiente, ambos mencionados por quatro produtores. Esses entraves impactam diretamente o uso de sistemas conectados, como o monitoramento remoto e o controle por aplicativos.

Além disso, três produtores relataram dificuldades no uso ou manuseio das ferramentas tecnológicas, refletindo a necessidade de soluções mais acessíveis e de suporte contínuo, principalmente para aqueles com menor familiaridade digital.

Esses dados reforçam a necessidade de políticas públicas que incentivem a democratização do acesso tecnológico, com foco em financiamento acessível, capacitação continuada e melhorias na infraestrutura rural. Superar essas barreiras é essencial para garantir que pequenos e médios produtores também possam usufruir dos benefícios da Agricultura de Precisão de forma plena e sustentável.

5 Diagnóstico e Proposta de Ações para Incentivo à Adoção Tecnológica

A partir dos dados obtidos com o questionário aplicado a produtores rurais pesquisados, foi possível traçar um panorama sobre o grau de inserção tecnológica nas propriedades analisadas. Dos 10 respondentes, 80% declararam utilizar algum tipo de tecnologia agrícola, enquanto os outros 20% afirmaram não fazer uso de nenhuma ferramenta digital no campo.

Entre as tecnologias mais adotadas, os drones se destacam com 70% de adesão, seguidos pelo uso de GPS para mapeamento e plantio (60%) e sistemas de irrigação automatizada (60%). Outros recursos mencionados incluem máquinas automatizadas, sensores e ferramentas de monitoramento remoto.

Esses dados evidenciam a presença de um processo de transição tecnológica em andamento, ainda que desigual. Mesmo entre os dois produtores que não utilizam tecnologia, foi possível observar a percepção positiva sobre os benefícios potenciais das inovações digitais no campo.

Com base nas respostas, foram identificados três perfis de produtores: os tecnologicamente integrados que já fazem uso de múltiplas ferramentas e possuem maior familiaridade com a agricultura de precisão; os em fase de transição que utilizam tecnologias mais básicas e demonstram interesse em expandir o uso; e os não usuários de tecnologias e que reconhecem seus benefícios e enfrentam obstáculos estruturais para implementá-las.

Considerando esses diferentes níveis de maturidade tecnológica, foram formuladas três frentes principais de ação, com propostas que visam promover a inclusão digital no campo, respeitando a realidade econômica e operacional de cada produtor.

5.1 Capacitação com Linguagem Acessível

Um dos principais obstáculos apontados na pesquisa foi a falta de qualificação técnica para o uso de novas ferramentas. Muitos produtores relatam não se sentirem preparados para utilizar tecnologias como sensores ou GPS.

Para superar essa barreira, é essencial fortalecer programas de capacitação acessível, com linguagem prática e aplicada ao contexto rural. O SENAR oferece cursos relevantes e gratuitos no seu portfólio, como de Introdução à Agricultura de Precisão (18 horas, on-line) que apresenta conceitos básicos sobre sensores, GPS e uso de dados no campo; Sistemas de Orientação por Satélite que complementa o introdutório e ensina, de forma simples, o funcionamento do GPS e sua aplicação prática nas propriedades rurais.

Ambas as formações são voltadas a produtores em fase inicial de adoção tecnológica, sendo fundamentais para democratizar o conhecimento e preparar o campo para o uso eficiente das inovações.

5.2 Divulgação de Soluções Tecnológicas de Baixo Custo

Outro desafio recorrente relatado foi o alto custo de aquisição de equipamentos. Para mitigar esse problema, a divulgação de tecnologias acessíveis é uma estratégia importante.

Foram identificadas ferramentas eficazes e de baixo custo que podem ser aplicadas por pequenos e médios produtores (Quadro 2).

Quadro 2 – Ferramentas de tecnologia para agricultura

Ferramenta	Descrição
Plantix	aplicativo gratuito para diagnóstico de pragas por imagem
GPS Fields Area Measure	permite medir áreas agrícolas via smartphone
Clima Tempo Agro	fornecce previsões climáticas específicas para o campo
Sensores de umidade de solo	com custo abaixo de R\$ 100, ajudam no manejo da irrigação
Drones de entrada	facilitam o monitoramento visual das lavouras com investimento inicial moderado. Por exemplo os DJI Mini SE

Fonte: adaptado de Guarizi e Funichello (2022)

O incentivo ao uso dessas tecnologias representa um primeiro passo viável e eficaz para integrar mais produtores à Agricultura de Precisão.

5.3 Acompanhamento Técnico e Material de Apoio Didático

A ausência de suporte técnico contínuo é outro fator limitante identificado na pesquisa. Para promover uma adoção tecnológica mais sólida, recomenda-se a promoção de parcerias com cooperativas, sindicatos e órgãos públicos para oferecer acompanhamento técnico local aos produtores; o uso de diagnósticos simples (como o questionário aplicado neste estudo) para identificar o grau de maturidade tecnológica de cada propriedade e planejar intervenções específicas; a criação de uma cartilha introdutória sobre Agricultura de Precisão, com explicações visuais, linguagem simples e exemplos do cotidiano rural. Essa cartilha pode funcionar como material de apoio para capacitações e também como ferramenta de consulta prática para produtores que desejam iniciar ou expandir o uso da tecnologia.

6 Considerações Finais

Este estudo evidenciou que a Agricultura de Precisão já se faz presente no cotidiano de produtores rurais das regiões de Delfinópolis (MG) e Sertãozinho (SP). Tecnologias como drones, GPS e sistemas de irrigação automatizada mostraram-se centrais no processo de modernização do campo, trazendo benefícios claros como o aumento da produtividade, a redução de perdas e o uso mais eficiente dos recursos naturais.

Apesar desses avanços, também foram identificadas barreiras significativas, como os custos de aquisição, a falta de mão de obra qualificada e as limitações de infraestrutura digital. Tais desafios demonstram que a adoção tecnológica no meio rural exige não apenas equipamentos, mas também capacitação, suporte técnico e políticas que favoreçam a inclusão de produtores de diferentes portes.

As propostas apresentadas neste trabalho, voltadas à formação acessível, à divulgação de soluções de baixo custo e ao acompanhamento técnico contínuo, mostram-se alternativas práticas para ampliar o alcance da Agricultura de Precisão. Dessa forma, a tecnologia deixa de ser um recurso restrito a grandes propriedades e passa a ser uma ferramenta acessível e transformadora para o conjunto da agricultura brasileira.

Referências

ARAÚJO, A. V. et al. **Agricultura de precisão como ferramenta estratégica na gestão e otimização de recursos em empresas agrícolas.** 2024. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/8834/5246>. Acesso em: 25 fev. 2025.

BAYER. **Agricultor aumenta produtividade de milho em 11 sacas por hectare com uso de Climate FieldView.** 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/44031/1/AgriculturaDesafiosImpactos.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2025.

CAZALE, A. T.; CAZALE, R. C. T. **Agricultura de precisão e a aplicação por taxa variável: impulsionadores da competitividade e desenvolvimento do**

agronegócio. Ciências agrárias: Diálogos em pesquisa, tecnologia e transformação, Volume 4. [s.l.] Editora e-Publicar, 2023. p. 189–200. Disponível em: <https://editorapublicar.com.br/ojs/index.php/publicacoes/article/view/138/213>. Acesso em: 07 mar. 2025.

CHAKRABORTY, S. et al. **A comprehensive review of path planning for agricultural ground robots.** *Sustainability*, Basel, v. 14, n. 15, p. 9156, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/15/9156>. Acesso em: 21 mar. 2025.

DIAS, E. M. et al. **Agro 4.0: reflexões, caminhos futuros e considerações finais.** Agro 4.0 : fundamentos, realidades e perspectivas para o Brasil, p. 304 : il, 2023. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/003154249>. Acesso em 07 mar. 2025.

DÖRR, J.; NACHTMANN, M. **Handbook Digital Farming: Digital Transformation for Sustainable Agriculture.** 2022. Disponível em: https://www.academia.edu/114055990/Handbook_Digital_Farming. Acesso em 20 mar. 2025.

ESTADÃO. **O que é e como funciona a agricultura de precisão?** 2022. Disponível em: <https://agro.estadao.com.br/summit-agro/o-que-e-e-como-funciona-a-agricultura-de-precisao>. Acesso em 28 fev. 2025.

FERNEDA, R.; RUFFONI, J. **Tecnologia da indústria 4.0 e agronegócio: uma reflexão para um conjunto de firmas do Rio Grande do Sul.** Anais do IV Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação: Inovação, Produtividade e os Desafios do Crescimento. 2019. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/engineeringproceedings/enei2019/5.5-050.pdf>. Acesso em 25 fev. 2025.

GARCIA, F. et al. **Evolução da agricultura de precisão: uma revisão.** Revista Brasileira de Geografia Física, [S. I.], v. 17, n. 6, p. 4761–4812, 2024. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.6.p4761-4812>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/264492>. Acesso em: 21 mar. 2025.

GETAHUN, S.; KEFALE, H.; GELAYE, Y. **Application of Precision Agriculture Technologies for Sustainable Crop Production and Environmental Sustainability: A Systematic Review.** The Scientific World Journal, v. 2024, p. 2126734, 2024. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1155/2024/2126734>. Acesso em 01 mar. 2025.

GUARIZI, D. S.; FUNICELLO, M. **Técnicas de agricultura de precisão.** 2022. Disponível em: <https://fatecpp.edu.br/alomorfia/index.php/alomorfia/article/view/177/71>. Acesso em: 22 fev. 2025.

IBGE. Censo Agropecuário 2017: Resultados Definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br>. Acesso em: 03 ago. 2025.

INAMASU, R. Y. et al. Agricultura de precisão: perspectiva histórica e de constante transformação. São Carlos: Editora Cubo, 2024. p. 17–32. Disponível em: <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-alice-doc-1171030/Description> . Acesso em 20 fev. 2025.

LEITE, R. A.; BORÉM, A.; BORGES JÚNIOR, A. Agricultura 5.0. Produção Independente, 2023. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1171030/1/P-Agricultura-de-precisao-perspectiva-historica-e-de-constante-transformacao.pdf?utm_source=chatgpt.com . Acesso em 27 fev. 2025.

LIU, Y. et al. From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. IEEE Transactions on Industrial Informatics, v. 17, p. 4322–4334, 2021. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1939287> . Acesso em 20 fev. 2025.

MUDHOLKAR, M.; MUDHOLKAR, P. Empowering Agricultural Ecosystems: Leveraging 5G IoT for Enhanced Product Integrity and Sustainable Ecological Environments. Journal of Informatics Education and Research, v. 4, n. 1, p. 592–600, 2024. Disponível em: <https://jier.org/index.php/journal/article/download/605/537> . Acesso em: 21 mar. 2025.

NOVACANA. Tereos economiza R\$ 250 por hectare com uso de drones para aplicar defensivos em canaviais. 2024. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/tereos-economiza-r-250-hectare-uso-drones-aplicar-defensivos-canaviais-140425> . Acesso em 25 maio. 2025.

QUEIROZ, D. M. et al. AGRICULTURA DIGITAL. [s.l.] [s.n.]. 2022. Disponível em: http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/degustacao/agricultura-digital-2ed_deg.pdf . Acesso em 01 mar. 2025.

OTAVIANO, C. Sistema monitora a produtividade da cana-de-açúcar, Jornal da Unicamp. 2017. Disponível em: <https://unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2017/12/18/sistema-monitora-produtividade-da-cana-de-acucar/>. Acesso em: 22 fev. 2025.

RODRIGUES, M. A.; GERON, L. Agricultura de precisão: sistema Autopilot sintetizado com a automação do maquinário agrícola na plantação de cana-de-açúcar. SITEFA, v. 6, n. 1, p. e6114–e6114, 11 dez. 2023. Disponível em: <https://publicacoes.fatecsertaozinho.edu.br/sitefa/article/view/258> . Acesso em 25 fev. 2025.

RUBMANN, M. et al. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. The Boston Consulting Group, 2015. Disponível em: https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_indu

stry 4 future productivity growth manufacturing industries . Acesso em 25 fev. 2025.

SANTOS, A. P. **Subsídios do Geoprocessamento na Agricultura de Precisão.** 2024. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/jspui/handle/prefix/7572>. Acesso em: 15 maio. 2025.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial.** Disponível em:
https://books.google.com.br/books?hl=pt-PT&lr=&id=XZSWDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=A+quarta+revolu%C3%A7%C3%A3o+industrial&ots=Yaac1tKCg7&sig=dhL4y_He-KT9UEP54Oa7izssKhA&redir_esc=y#v=onepage&q=A%20quarta%20revolu%C3%A3%C3%A3o%20industrial&f=false . Acesso em 06 mar. 2025.

SOUZA, A. L. O. et al. **Cibersegurança na agricultura de precisão: exploração à aplicação de medidas preventivas.** Advances in Global Innovation & Technology, v. 2, n. 2, p. 61–73, 2024. Disponível em:
<https://revista.fatecjl.edu.br/index.php/git/article/view/65> . Acesso em 15 mar. 2025.

SOUZA, I. L. R. DE; KOHLE, V. S. L. R.; SILVA, F. R. DA. **Gestão da tecnologia na agricultura de precisão, com uso de com uso de VANTs e análise de dados.** Disponível em: <http://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com/handle/123456789/23080>. Acesso em 14 mar. 2025.

SOARES, S., PATROCÍNIO, A. B. do, SILVA, F. C. da. **Desenvolvimento de uma rota tecnológica para produção de etanol celulósico de segunda geração de bagaço de cana-de-açúcar.** 2017. Disponível em:
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1079027/1/PLDesenvolvJCnaEscola.pdf> . Acesso em 19 mar. 2025.

SYNGENTA. **Inteligência Artificial da Syngenta ajuda os produtores a aumentarem a produtividade em até 5% e transforma o manejo agronômico | Syngenta.** 2024. Disponível em: <https://www.syngenta.com.br/inteligencia-artificial-da-syngenta-ajuda-os-produtores-aumentarem-produtividade-em-ate-5-e>. Acesso em: 16 mar. 2025.

VIEIRA, P. A. et al. **A Embrapa e seu papel no sistema nacional de inovação agrícola.** Propriedade intelectual e inovações na agricultura. 2018. Disponível em:<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1051681>. Acesso em 28 fev. 2025.

ZANUTO, A. H. S. **Agricultura 4.0: Desafios e impactos das novas tecnologias na agricultura brasileira.** 2024. Uberlândia: [s.n.]. Acesso em: 16 mar. 2025.
Disponível em:
<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/44031/1/AgriculturaDesafiosImpactos.pdf> . Acesso em 01 mar. 2025.