

AGRICULTURA DE PRECISÃO NA CULTURA DA SOJA: impactos na redução de custos e no aumento da eficiência produtiva com o uso de drones¹

PRECISION AGRICULTURE IN SOYBEAN CULTIVATION: impacts on cost reduction and increased production efficiency with the use of drones

Cesar Filho Gonçalves²

José Eduardo Borges de Jesus³

Edmilson Junio Medeiros Caetano⁴

RESUMO

A Agricultura de Precisão tem ampliado sua aplicação na cultura da soja com o uso de drones no monitoramento e no manejo agrícola. Este estudo realizou uma revisão bibliográfica de abordagem qualitativa com base em publicações científicas publicadas entre 2015 e 2025, buscando analisar as aplicações dos drones na sojicultura e seus impactos sobre os custos operacionais e a eficiência produtiva. Os trabalhos analisados relacionam o uso dessas tecnologias ao monitoramento fitossanitário, à identificação de falhas de plantio, ao acompanhamento do desenvolvimento vegetativo e à pulverização localizada. Parte dos estudos também aponta redução no desperdício de insumos e maior detalhamento das informações obtidas no campo por meio de imagens aéreas e dados georreferenciados. Os resultados observados na literatura indicam crescimento do uso de drones na Agricultura de Precisão aplicada à soja, principalmente em atividades ligadas ao monitoramento das lavouras e ao gerenciamento das operações agrícolas.

Palavras-chave: agricultura de precisão; sojicultura; drones; sensoriamento remoto; eficiência produtiva.

ABSTRACT

Precision Agriculture has expanded its application in soybean cultivation, especially with the use of drones in agricultural monitoring and management. This study carried out a literature review with a qualitative approach based on scientific publications published between 2015 and 2025, seeking to analyze the applications of drones in soybean farming and their impacts on operating costs and production efficiency. The analyzed works relate the use of these technologies to phytosanitary monitoring, the identification of planting failures, the monitoring of vegetative development and localized spraying. Part of the studies also points to a reduction in the waste of inputs and greater detail of the information obtained in the field through aerial images and georeferenced data. The results observed in the literature indicate an increase in the use of drones in Precision Agriculture applied to soybeans, especially in activities related to crop monitoring and the management of agricultural operations.

Keywords: precision agriculture; soybean cultivation; drones; remote sensing; productive efficiency.

¹Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário Mais - UNIMAIS, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia, no primeiro semestre de 2026.

²Acadêmico(a) do 10º Período do curso de Agronomia pelo Centro Universitário Mais - UNIMAIS. E-mail: cesarfilhogoncalves@aluno.facmais.edu.br

³Acadêmico(a) do 10º Período do curso de Agronomia pelo Centro Universitário Mais - UNIMAIS. E-mail: josejesus@aluno.facmais.edu.br

⁴Professor(a)-Orientador(a). Mestre em Engenharia Agrícola. Docente do Centro Universitário Mais - UNIMAIS. E-mail: edmilson.caetano@facmais.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) ocupa posição de destaque no agronegócio brasileiro, sobretudo pela participação nas exportações e pela importância econômica associada à cadeia produtiva da cultura. Nas últimas décadas, o crescimento da produção esteve relacionado à ampliação do uso de tecnologias no campo, à modernização das práticas de manejo e ao avanço técnico da sojicultura nacional, fatores que contribuíram para consolidar o Brasil entre os principais produtores mundiais da oleaginosa (Aragão; Contini, 2022). Paralelamente a esse crescimento, o setor passou a enfrentar desafios ligados ao aumento dos custos de produção, às oscilações climáticas e à necessidade de adoção de práticas mais eficientes e sustentáveis no ambiente agrícola (Mendes *et al.*, 2022).

Nesse processo, a Agricultura de Precisão (AP) passou a ser incorporada como alternativa para o manejo mais detalhado das lavouras. Diferentemente dos modelos convencionais, baseados em aplicações uniformes em toda a área cultivada, a AP considera a variabilidade espacial e temporal presente no campo, utilizando informações georreferenciadas para orientar intervenções específicas conforme as condições de cada talhão (Manoso; Garcia, 2006; Góes *et al.*, 2017; Prudêncio *et al.*, 2021). O uso dessas informações tem modificado práticas relacionadas ao monitoramento agrícola, ao emprego de insumos e à condução do manejo produtivo.

Entre as tecnologias associadas à Agricultura de Precisão sobressaem-se os sistemas de posicionamento global (GPS), sensores, mapas de produtividade, softwares de gestão e ferramentas de sensoriamento remoto, como os drones ou veículos aéreos não tripulados (UAVs). Na cultura da soja, esses equipamentos têm sido utilizados no acompanhamento das condições da lavoura por meio da obtenção de imagens em alta resolução, permitindo identificar falhas de plantio, variações no desenvolvimento vegetativo e possíveis ocorrências de estresse na cultura (Resende *et al.*, 2014; Hammerschmidt, 2020; Prudêncio *et al.*, 2021). Em comparação com métodos tradicionais de monitoramento, os drones ampliaram a velocidade de coleta de informações e possibilitaram maior detalhamento das áreas analisadas.

O uso de tecnologias digitais no ambiente agrícola também alterou a forma de gerenciamento das atividades produtivas. Segundo Manoso e Garcia (2006), a Agricultura de Precisão passou a incorporar a informação como elemento estratégico na tomada de decisão, especialmente em operações relacionadas ao manejo localizado. Nesse contexto, práticas como a aplicação direcionada de insumos têm sido relacionadas à redução de desperdícios e ao uso mais racional dos recursos agrícolas (Nobre; Oliveira, 2018; Cataneo; Cavichioli, 2023). Além disso, drones equipados com sensores específicos auxiliam no acompanhamento contínuo das lavouras, contribuindo para a identificação de problemas fitossanitários, nutricionais e operacionais em diferentes estágios do ciclo produtivo (Cuba, 2024; Fernandes, 2024).

Estudos desenvolvidos nos últimos anos indicam impactos positivos da Agricultura de Precisão na cultura da soja. Oliveira *et al.* (2019) verificaram redução no uso de fertilizantes em áreas submetidas à adubação em taxa variável, sem comprometimento do desempenho produtivo da cultura. De forma semelhante, Zanin *et al.* (2022) constataram diminuição no volume de pesticidas aplicados por meio da pulverização de precisão. Outros trabalhos também relacionam o uso dessas tecnologias à melhoria do monitoramento agrícola, à maior eficiência operacional e à

ampliação da sustentabilidade produtiva na sojicultura (Giacomini, 2021; Prudêncio *et al.*, 2021).

No Brasil, a expansão da Agricultura de Precisão ocorreu de forma gradual, acompanhando o avanço das tecnologias digitais no setor agrícola e o crescimento da produção de soja. Instituições de pesquisa, como a Embrapa, tiveram participação importante nesse processo ao desenvolver metodologias, validar tecnologias e promover capacitações voltadas ao manejo *site-specific* (Inamasu *et al.*, 2024). A aproximação entre pesquisa científica e setor produtivo contribuiu para aumentar o uso de ferramentas digitais no campo, englobando sensores, sistemas de informação geográfica e drones aplicados ao monitoramento agrícola. Simultaneamente, a incorporação dessas tecnologias passou a atender demandas relacionadas à competitividade, rastreabilidade e otimização das operações produtivas.

Diante do crescente emprego de tecnologias digitais na sojicultura, torna-se relevante compreender de que maneira os drones têm contribuído para o manejo agrícola e para a eficiência produtiva da cultura. Assim, este estudo analisa, com base na literatura científica, os impactos da utilização de drones na cultura da soja, com ênfase na redução dos custos de produção, na otimização do uso de insumos e no aumento da eficiência produtiva.

2 AGRICULTURA DE PRECISÃO APLICADA À CULTURA DA SOJA: IMPACTOS NA REDUÇÃO DE CUSTOS E NO AUMENTO DA EFICIÊNCIA PRODUTIVA COM O USO DE DRONES

2.1 Fundamentos da Agricultura de Precisão e sua evolução na sojicultura brasileira

A Agricultura de Precisão (AP) baseia-se no reconhecimento da variabilidade espacial e temporal presente nas áreas agrícolas, utilizando informações específicas do campo para orientar o manejo da lavoura (Resende *et al.*, 2014; Góes *et al.*, 2017; Prudêncio *et al.*, 2021). Na cultura de soja, diferenças relacionadas à fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, incidência de pragas e desenvolvimento vegetativo interferem diretamente no desempenho produtivo, o que limita a eficiência de práticas uniformes aplicadas em toda a área cultivada (Góes *et al.*, 2017). Nesse sentido, a AP passou a ser usada como alternativa para tornar o manejo mais ajustado às condições de cada talhão e reduzir desperdícios durante o processo produtivo (Manoso; Garcia, 2006).

A aplicação da Agricultura de Precisão na sojicultura depende da obtenção e interpretação de dados agronômicos relacionados às condições da lavoura (Resende *et al.*, 2014; Prudêncio *et al.*, 2021). Para isso, são utilizados recursos como sistemas de posicionamento global, sensores, mapas de produtividade e softwares de análise espacial, ferramentas que auxiliam na identificação das variações existentes dentro da área cultivada (Prudêncio *et al.*, 2021). Essas informações têm sido empregadas em operações relacionadas à correção do solo, ao monitoramento fitossanitário e ao acompanhamento do desenvolvimento da cultura (Resende *et al.*, 2014; Hammerschmidt, 2020).

Entre as tecnologias incorporadas à AP, os veículos aéreos não tripulados (VANTs), também conhecidos como drones, passaram a ocupar espaço importante no monitoramento agrícola. Com a utilização desses equipamentos, é possível obter imagens aéreas em alta resolução, favorecendo a identificação de falhas de plantio,

variações no vigor vegetativo e sinais de estresse na cultura da soja (Jorge; Inamasu, 2014). Em comparação com métodos convencionais de monitoramento, os drones aumentaram a rapidez na coleta de informações e propiciaram avaliações mais detalhadas das áreas cultivadas.

A adoção da Agricultura de Precisão também envolve fatores econômicos relacionados aos custos de implementação e operação das tecnologias utilizadas no campo. De acordo com Manoso e Garcia (2006), a coleta, o processamento e a interpretação de dados exigem investimentos que precisam ser compensados pelos ganhos obtidos no sistema produtivo. Dessa forma, a viabilidade da AP depende da relação entre os custos associados às tecnologias empregadas e os benefícios observados na redução de perdas, no uso de insumos e no desempenho produtivo da lavoura.

No Brasil, a consolidação da AP acompanhou a expansão da fronteira agrícola e a modernização da sojicultura a partir dos anos 2000 (Manoso; Garcia, 2006; Inamasu *et al.*, 2024). Instituições de pesquisa, como a Embrapa, foram os pilares dessa transição ao validar tecnologias e capacitar o corpo técnico para as novas exigências do mercado (Inamasu *et al.*, 2024). Nos últimos anos, a integração entre sensores, plataformas digitais e ferramentas de sensoriamento remoto fez com que se usasse ainda mais AP na cadeia produtiva da soja, principalmente em atividades relacionadas ao monitoramento agrícola e à gestão das operações no campo (Cataneo; Cavichioli, 2023; Inamasu *et al.*, 2024).

2.2 Tecnologias de sensoriamento remoto e o uso de drones na Agricultura de Precisão

O uso de tecnologias digitais no setor agrícola modificou a forma de monitoramento e gerenciamento das lavouras nas áreas vinculadas à Agricultura de Precisão. Entre os recursos mais utilizados nesse processo, os drones passaram a exercer papel importante na obtenção de dados e no acompanhamento das condições das áreas cultivadas (Amaral *et al.*, 2020; Cataneo; Cavichioli, 2023). Equipados com sensores e câmeras de alta resolução, esses dispositivos possibilitam a identificação de variações presentes na lavoura com maior nível de detalhamento quando comparados a métodos convencionais de monitoramento (Amaral *et al.*, 2020; Ribeiro; Cavichioli, 2022).

Na cultura da soja, essa tecnologia viabiliza um diagnóstico preventivo. O mapeamento aéreo permite detectar, com agilidade, desde falhas de plantio e estresse hídrico até precoces deficiências nutricionais ou ataques de pragas (Ribeiro; Cavichioli, 2022; Fernandes, 2024). A obtenção de imagens aéreas auxilia em avaliações mais rápidas das condições da lavoura, sobretudo em áreas extensas, onde o monitoramento manual tende a demandar maior tempo operacional. Parte dessas informações é gerada por sensores multiespectrais capazes de produzir índices vegetativos, como o NDVI, utilizados na análise do vigor das plantas e no acompanhamento do desenvolvimento da cultura (Hemalatha; Sangeetha, 2024). Com isso, as intervenções agrícolas passam a considerar com maior precisão as necessidades observadas em cada área da lavoura.

O aumento do uso de drones também está relacionado ao avanço da agricultura digital e à integração dessas ferramentas com sistemas de informação geográfica, inteligência artificial e plataformas de análise de dados (Furtado *et al.*, 2023; Cuba, 2024). Essa associação engrandece a capacidade de monitoramento das áreas agrícolas e contribui para decisões mais direcionadas no manejo da

cultura. Além do acompanhamento em tempo real das condições da lavoura, os dados obtidos podem ajudar na definição de estratégias quanto à aplicação de insumos e à condução das operações agrícolas (Prudêncio *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2025).

Os benefícios se estendem, por fim, à pulverização agrícola. Segundo Zanin *et al.* (2022) e Pereira *et al.* (2023), a pulverização de precisão por drones uniformiza a aplicação de insumos e reduz desperdícios durante as operações fitossanitárias. Em alguns casos, os estudos apontam redução no volume de pesticidas empregados sem comprometimento do controle de pragas e doenças. Em última análise, a utilização dessas tecnologias também se relaciona à adoção de práticas agrícolas voltadas ao uso mais racional de recursos e à redução de impactos ambientais no sistema produtivo (Nobre; Oliveira, 2018).

2.3 Aplicações práticas e impactos do uso de drones na cultura da soja

O uso de drones na cultura da soja expandiu as formas de monitoramento das lavouras e passou a integrar diferentes etapas do manejo agrícola. A obtenção rápida de imagens e dados georreferenciados favoreceu o acompanhamento das condições da cultura ao longo do ciclo produtivo, em especial em áreas extensas, nas quais o monitoramento convencional demanda maior tempo operacional (Amaral *et al.*, 2020; Ribeiro; Cavichioli, 2022; Cataneo; Cavichioli, 2023). Com isso, informações sobre o desenvolvimento da lavoura começaram a ser utilizadas de maneira mais frequente no suporte às decisões agronômicas (Cavichioli, 2022; Furtado *et al.*, 2023; Ribeiro).

No campo, os drones são frequentemente empregados para o mapeamento aéreo das áreas cultivadas. As imagens obtidas ajudam a identificar falhas de plantio, variações no estande e áreas com sinais de estresse hídrico ou nutricional que, em alguns casos, seriam mais difíceis de visualizar em levantamentos realizados diretamente no campo (Ribeiro; Cavichioli, 2022). No monitoramento fitossanitário, esses aparelhos também têm sido utilizados para a identificação de pragas, doenças e alterações no desenvolvimento das plantas, auxiliando na definição de intervenções mais localizadas conforme as condições observadas na lavoura (Hemalatha; Sangeetha, 2024; Fernandes, 2024).

Na pulverização agrícola, recorrem-se aos drones para a aplicação direcionada de defensivos e outros insumos fitossanitários. Estudos apontam redução de desperdícios e maior uniformidade na cobertura das áreas tratadas quando comparadas a alguns métodos convencionais de aplicação (Zanin *et al.*, 2022). Somado a isso, Pereira *et al.* (2023) ressaltam a diminuição do amassamento da cultura provocado pelo tráfego de máquinas agrícolas, além da possibilidade de operação em áreas de difícil acesso ou com relevo irregular.

O acompanhamento nutricional da soja também é aprimorado por essa tecnologia no sensoriamento remoto. A análise das imagens possibilita identificar diferenças no vigor vegetativo e auxilia no monitoramento das condições da cultura ao longo do desenvolvimento da lavoura (Ribeiro; Cavichioli, 2022; Hemalatha; Sangeetha, 2024). Em algumas situações, esses dados são usados no planejamento das operações agrícolas, na delimitação de talhões e na estimativa do potencial produtivo das áreas cultivadas (Jorge; Inamasu, 2014; Amaral *et al.*, 2020).

Nos últimos anos, a integração entre drones, plataformas digitais, inteligência artificial e sistemas de informação geográfica ampliou o volume de informações disponíveis para o gerenciamento agrícola (Furtado *et al.*, 2023; Cataneo; Cavichioli,

2023). Essa articulação tecnológica favoreceu a automação de análises e auxiliou decisões relacionadas ao uso de insumos, monitoramento das lavouras e planejamento operacional. Estudos recentes associam esse uso à redução de custos operacionais e à melhoria da eficiência produtiva na cultura da soja (Mendes, 2022; Cataneo; Cavichioli, 2023; Furtado *et al.*, 2023).

A expansão do manejo de drones na sojicultura acompanha o avanço das tecnologias digitais no campo e a busca por maior controle das operações agrícolas. Além das aplicações relacionadas ao monitoramento e à pulverização, esses equipamentos passaram a integrar estratégias voltadas ao emprego localizado e ao acompanhamento mais detalhado das condições produtivas da lavoura (Resende *et al.*, 2014; Inamasu *et al.*, 2024).

3 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza bibliográfica, de abordagem qualitativa e caráter descritivo, voltado à análise das aplicações da Agricultura de Precisão na cultura da soja, com foco no uso de drones e nos impactos relacionados à eficiência produtiva e à redução de custos operacionais.

O levantamento bibliográfico foi realizado em bases de dados científicas e repositórios acadêmicos, entre eles SciELO, Periódicos CAPES, Google Acadêmico e repositórios institucionais da Embrapa. Para a seleção dos estudos, consideraram-se publicações divulgadas entre 2015 e 2025, período marcado pela ampliação do uso de tecnologias digitais aplicadas ao monitoramento agrícola e à Agricultura de Precisão.

A busca dos materiais concentrou-se em estudos relacionados à variabilidade espacial das lavouras, sensoriamento remoto, uso de drones no monitoramento agrícola e aplicações da Agricultura de Precisão na sojicultura. Também foram incluídas publicações voltadas ao uso de sistemas de informação geográfica, análise de dados agronômicos e mapeamento digital de áreas cultivadas.

Nas buscas em língua inglesa, utilizaram-se combinações de descritores como “soybean”, “UAV”, “drone” e “precision agriculture”, associados por meio do operador booleano “AND”. A estratégia de busca priorizou trabalhos acerca do uso de drones na cultura da soja e das tecnologias aplicadas ao manejo agrícola.

Foram incluídos artigos científicos, dissertações e documentos técnicos publicados em português ou inglês que apresentassem relação direta com a temática proposta. Em contrapartida, excluíram-se estudos voltados exclusivamente para outras culturas agrícolas, publicações duplicadas e materiais sem caráter científico, como resumos simples e textos sem revisão técnica.

A seleção inicial ocorreu por meio da leitura dos títulos e resumos das publicações identificadas. Nos casos em que a pertinência temática não pôde ser verificada somente pela leitura dos resumos, realizou-se a leitura integral dos trabalhos. Após essa etapa, os trabalhos selecionados foram organizados em um quadro de sistematização contendo informações relativas aos objetivos das pesquisas, às tecnologias empregadas, às aplicações dos drones e aos principais resultados apresentados pelos autores.

Os estudos analisados foram agrupados em categorias temáticas referentes aos fundamentos da Agricultura de Precisão, à evolução dessas tecnologias no Brasil, às aplicações dos drones na cultura da soja e aos impactos econômicos observados na literatura. A organização das pesquisas permitiu identificar padrões

recorrentes, possibilidades de aplicação e limitações associadas ao uso dessas tecnologias no contexto da produção agrícola.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos selecionados indicam ampliação do uso da Agricultura de Precisão na cultura da soja, especificamente após a incorporação de ferramentas digitais voltadas ao monitoramento e ao gerenciamento das lavouras. Parte significativa das pesquisas analisadas relaciona a adoção dessas tecnologias à coleta e interpretação de dados agrônômicos capazes de identificar variações existentes dentro da área cultivada (Resende *et al.*, 2014; Góes *et al.*, 2017; Prudêncio *et al.*, 2021). Na sojicultura, fatores como fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, incidência de pragas e desenvolvimento vegetativo influenciam diretamente o desempenho da cultura, o que aumenta a utilização de práticas de manejo baseadas em informações georreferenciadas (Manoso; Garcia, 2006; Vian *et al.*, 2022).

Os trabalhos reunidos na Tabela 1 abaixo mostram que a Agricultura de Precisão passou a incorporar diferentes tecnologias ao manejo agrícola, abrangendo sensores, sistemas de posicionamento global, softwares de análise espacial e ferramentas de sensoriamento remoto. Em estudos mais recentes, observa-se crescimento das aplicações relativas ao uso de drones em atividades de monitoramento fitossanitário, pulverização localizada e análise do desenvolvimento vegetativo da soja.

Tabela 1 – Principais fundamentos da Agricultura de Precisão aplicados à cultura da soja segundo a literatura científica (2015–2025)

Ano	Autor(es)	Fundamento da Agricultura de Precisão	Contribuição teórica/técnica	Aplicação e impacto na soja
2017	Góes <i>et al.</i>	Variabilidade espacial e manejo localizado	Consolidação do conceito de heterogeneidade das áreas agrícolas	Permite intervenções específicas e redução de desperdícios
2018	Nobre e Oliveira	Agricultura de baixo carbono	Integração entre tecnologia e sustentabilidade ambiental	Redução de impactos ambientais e uso racional de insumos
2019	Oliveira <i>et al.</i>	Adubação em taxa variável	Aplicação diferenciada de fertilizantes conforme necessidade do solo	Redução de custos com fertilizantes e maior eficiência nutricional
2020	Amaral <i>et al.</i>	Sensoriamento remoto com UAVs	Uso de drones na agricultura 4.0 para coleta de dados	Monitoramento mais rápido e preciso da lavoura
2020	Hammerschmidt	Agricultura de precisão na soja	Avaliação prática da AP na sojicultura brasileira	Melhoria no manejo e aumento da produtividade
2021	Prudêncio <i>et al.</i>	Agricultura de precisão aplicada à	Sistematização dos benefícios da AP na	Maior eficiência produtiva e tomada de decisão mais

		soja	cultura	precisa
2022	Mendes	Gestão agrícola e redução de custos	Relação entre tecnologia e eficiência econômica	Diminuição dos custos de produção na soja
2022	Vian <i>et al.</i>	Integração solo—planta—ambiente	Aplicação de práticas culturais e ecológicas na AP	Otimização do desenvolvimento da soja
2022	Zanin <i>et al.</i>	Pulverização de precisão	Aplicação localizada de defensivos agrícolas	Redução significativa no uso de pesticidas
2023	Cataneo e Cavichioli	Agricultura digital	Uso de tecnologias digitais no campo	Aumento da eficiência e automação das decisões agrícolas
2023	Furtado <i>et al.</i>	Agricultura 4.0 e 5.0	Integração de drones, IA e big data	Maior produtividade e sustentabilidade
2023	Pereira <i>et al.</i>	Pulverização com drones	Aplicação aérea de insumos agrícolas	Redução de perdas e maior precisão operacional
2024	Inamasu <i>et al.</i>	Evolução da Agricultura de Precisão	Consolidação histórica e tecnológica da AP no Brasil	Fortalecimento da adoção de tecnologias no campo
2024	Fernandes	Uso de drones na agricultura	Aplicação prática de UAVs no monitoramento agrícola	Deteção precoce de pragas e estresses
2024	Hemalatha e Sangeetha	Sensores e imagens de baixo custo	Uso de imagens para identificação de pragas	Monitoramento fitossanitário mais eficiente
2024	Cuba	Tecnologias digitais no campo	Inovação e automação agrícola	Aumento da produtividade e eficiência operacional
2025	da Silva <i>et al.</i>	Gestão e tecnologia agrícola	Integração entre gestão e Agricultura de Precisão	Otimização da eficiência produtiva e redução de custos

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

No Brasil, a expansão da Agricultura de Precisão ocorreu de forma mais intensa a partir dos anos 2000, acompanhando o avanço da mecanização agrícola e das tecnologias digitais aplicadas ao campo (Manoso; Garcia, 2006). Parte desse processo se deu pela atuação de instituições de pesquisa, como a Embrapa, responsável pela validação de tecnologias e pela difusão de metodologias dedicadas ao manejo *site-specific* (Inamasu *et al.*, 2024). Ao longo dos últimos anos, sensores, sistemas GNSS, softwares de análise geoespacial e drones passaram a integrar diferentes etapas do manuseio agrícola, sobretudo em culturas de grande escala, como a soja.

Pesquisas desenvolvidas por Amaral *et al.* (2020), Bazame *et al.* (2023) e Ribeiro e Cavichioli (2022) relacionam o uso de drones à ampliação da capacidade de monitoramento das lavouras. Com a obtenção de imagens em alta resolução, é possível identificar falhas de plantio, alterações no vigor vegetativo, áreas com

estresse hídrico e ocorrências fitossanitárias com maior detalhamento em cor

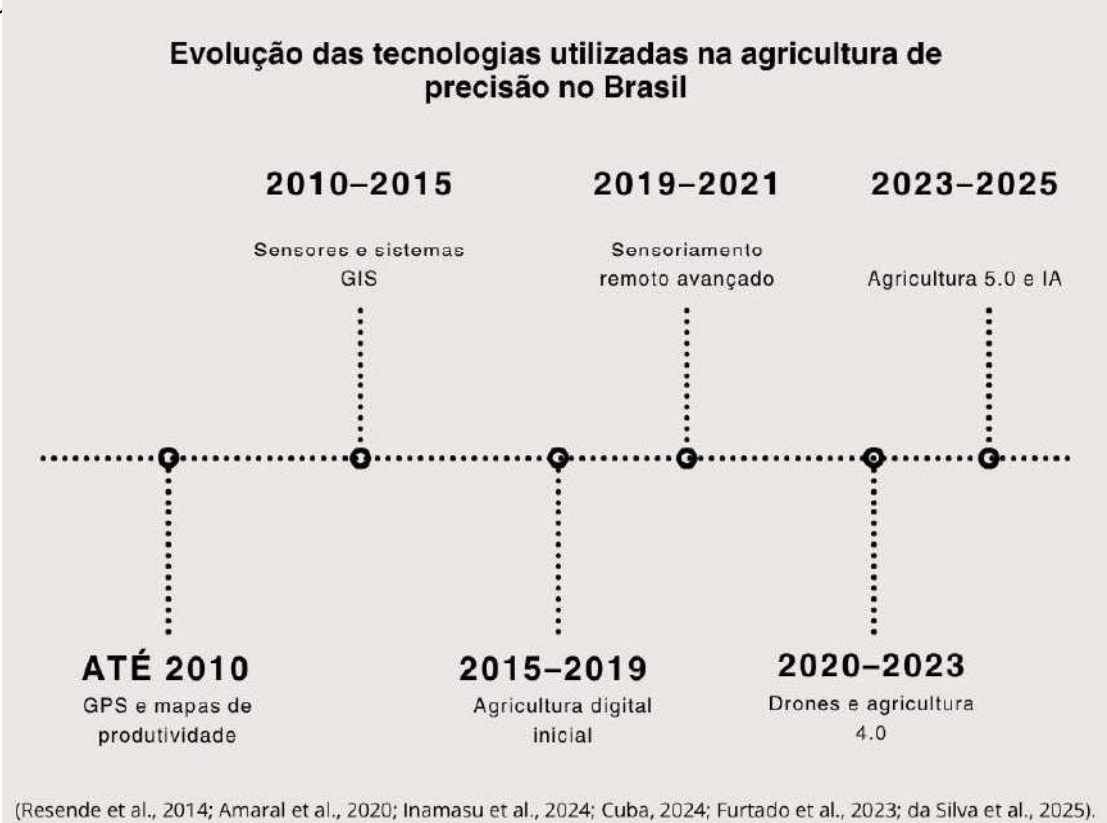


Figura 1 – Evolução das tecnologias utilizadas na Agricultura de Precisão no Brasil.
Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Entre os recursos mais utilizados no monitoramento da soja destacam-se os sensores multiespectrais e os índices vegetativos, como NDVI e GNDVI. Segundo Hemalatha e Sangeetha (2024), esses índices têm sido empregados na avaliação do desenvolvimento vegetativo e na identificação de alterações relacionadas ao estado fisiológico das plantas. Em parte dos estudos analisados, o uso dessas informações esteve associado à realização de intervenções mais localizadas, principalmente em operações relacionadas ao manejo fitossanitário e à aplicação de insumos.

Outro aspecto recorrente na literatura refere-se à integração entre drones e ferramentas vinculadas à agricultura digital. Trabalhos recentes mencionam a utilização conjunta de inteligência artificial, sistemas de informação geográfica e análise de dados para aumentar a interpretação das informações obtidas no campo (Furtado *et al.*, 2023; Cuba, 2024). Nessas aplicações, os drones deixam de atuar somente como instrumentos de captura de imagens e passam a integrar sistemas dedicados ao gerenciamento agrícola e ao planejamento operacional.

As aplicações identificadas nos estudos analisados incluem mapeamento aéreo, monitoramento fitossanitário, pulverização localizada, análise nutricional e acompanhamento fenológico da cultura, conforme disposto na Tabela 2. Em diferentes situações, os autores relacionam o uso de drones à redução do tempo de monitoramento da lavoura e à ampliação do detalhamento das informações obtidas no campo.

Tabela 2 – Principais aplicações dos drones na cultura da soja, seus impactos operacionais e autores que sustentam a aplicação.

Aplicação dos drones	Descrição técnica	Objetivo agrônomo	Impactos operacionais	Autores que sustentam
----------------------	-------------------	-------------------	-----------------------	-----------------------

			observados na soja	
Mapeamento aéreo (RGB)	Imagens em alta resolução para análise visual e identificação de falhas	Avaliar estande, compactação e uniformidade	Deteção precoce de problemas e redução de visitas de campo	Amaral <i>et al.</i> (2020); Jorge <i>et al.</i> (2021)
Mapeamento NDVI e índices vegetativos	Sensores multiespectrais para medir vigor e estresse	Identificar estresse hídrico, pragas e deficiências	Manejo preventivo e menor perda produtiva	Hemalatha e Sangeetha (2024); Furtado <i>et al.</i> (2023)
Pulverização localizada com drones	Aplicação aérea direcionada com menor volume	Controlar focos de pragas e doenças	Redução de 30–50% no uso de defensivos e menor deriva	Pereira <i>et al.</i> (2023); Zanin <i>et al.</i> (2022)
Aplicação de fertilizantes líquidos (foliar)	Equipamentos acoplados a drones para nutrição foliar	Corrigir deficiências nutricionais	Maior eficiência e menor desperdício	Vian <i>et al.</i> (2022); Mendes (2022)
Monitoramento de pragas e doenças	Identificação de padrões suspeitos por RGB e NDVI	Detectar surtos de percevejo e doenças fúngicas	Resposta mais rápida e redução de impactos econômicos	Fernandes (2024); Hammerschmidt (2020)
Avaliação de estandes e emergência	Levantamento aéreo georreferenciado pós-plantio	Diagnosticar falhas e necessidade de replantio	Melhora da uniformidade e decisões imediatas	Inamasu <i>et al.</i> (2024); Cataneo e Cavichioli (2023)
Acompanhamento fenológico	Monitoramento periódico das fases da planta	Ajustar manejo ao ciclo da cultura	Melhor planejamento de tratos culturais e colheita	Cuba (2024); Amaral <i>et al.</i> (2020)
Estimativas de produtividade (biomassa/vigor)	Inferências por visão computacional e índices vegetativos	Prever produtividade e planejar logística	Maior precisão em previsão e planejamento operacional	da Silva <i>et al.</i> (2025); Furtado <i>et al.</i> (2023)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Na pulverização agrícola, parte das pesquisas aponta redução do volume de defensivos aplicados e maior uniformidade na cobertura das áreas tratadas (Zanin *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2023). Os estudos também mencionam diminuição do tráfego de máquinas sobre a lavoura em áreas de difícil acesso ou em situações nas quais o uso de equipamentos terrestres apresenta limitações operacionais. Apesar disso, alguns trabalhos salientam que a eficiência dessas operações pode variar conforme fatores como condições climáticas, capacidade operacional dos equipamentos e escala de produção adotada.

Os resultados observados na literatura também relacionam o uso de drones à redução de custos operacionais em atividades ligadas ao monitoramento agrícola e à aplicação localizada de insumos. Em parte dos estudos analisados, o uso de dados georreferenciados direcionou intervenções apenas para áreas específicas da lavoura, reduzindo desperdícios e ajustando a aplicação de recursos consoante as condições identificadas no campo (Amaral *et al.*, 2020; Ribeiro; Cavichioli, 2022). Ainda assim, os autores apontam que a adoção dessas tecnologias depende de

fatores como investimento inicial, disponibilidade de capacitação técnica e acesso à infraestrutura digital.

De modo geral, os estudos analisados mostram crescimento da utilização de drones na Agricultura de Precisão aplicada à cultura da soja, em especial em atividades relacionadas ao monitoramento agrícola, manejo fitossanitário e planejamento operacional. A literatura também revela avanço da integração entre drones e outras tecnologias digitais empregadas no gerenciamento das lavouras, embora aspectos relacionados a custo, capacitação e adaptação operacional ainda apareçam como fatores relevantes para a ampliação do uso dessas ferramentas no campo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar, com base na literatura científica, os impactos da utilização de drones na Agricultura de Precisão aplicada à cultura da soja, com ênfase na redução de custos operacionais e no aumento da eficiência produtiva. A partir dos trabalhos analisados, observou-se que o uso dessas tecnologias tem ampliado as possibilidades de monitoramento agrícola e contribuído para práticas de manejo mais localizadas nas diferentes etapas da produção.

Os estudos revisados indicam que os drones vêm sendo utilizados principalmente em atividades relacionadas ao monitoramento fitossanitário, mapeamento aéreo, análise do desenvolvimento vegetativo e pulverização localizada. Em parte das pesquisas analisadas, a utilização dessas ferramentas esteve associada à redução do desperdício de insumos, à ampliação do controle das operações agrícolas e à obtenção de informações mais detalhadas sobre as condições da lavoura.

A revisão bibliográfica também mostrou que a integração entre drones, sensores multiespectrais, sistemas de informação geográfica e plataformas digitais tem ampliado o uso de dados georreferenciados no gerenciamento da cultura da soja. Nesse contexto, a Agricultura de Precisão passou a incorporar tecnologias capazes de auxiliar o planejamento operacional e o acompanhamento das condições produtivas da lavoura de forma mais detalhada.

Apesar dos avanços observados, os estudos analisados também apontam limitações relacionadas ao custo de implementação, à necessidade de capacitação técnica e à dependência de infraestrutura adequada para utilização dessas tecnologias no campo. Além disso, os resultados podem variar conforme as condições de manejo, escala de produção e disponibilidade de recursos tecnológicos nas propriedades rurais.

Portanto, os objetivos propostos pelo estudo foram alcançados, uma vez que a revisão da literatura permitiu compreender as principais aplicações dos drones na sojicultura e os impactos associados ao monitoramento agrícola e à gestão das operações produtivas. Por fim, sugere-se que pesquisas futuras aprofundem análises relacionadas à viabilidade econômica dessas tecnologias em propriedades com diferentes níveis de adoção tecnológica, bem como às limitações operacionais observadas em condições específicas de cultivo.

REFERÊNCIAS

AMARAL, L. R. do; ZERBATO, C.; FREITAS, R. G. de; BARBOSA JÚNIOR, M. R.; SIMÕES, I. O. P. da S. Aplicações de UAVs na Agricultura 4.0. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 51, n. especial (Agricultura 4.0), e20207748, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200082>. Acesso em: 18 abr. 2026.

ARAGÃO, A.; CONTINI, E. **O Agro no Brasil e no Mundo**: um panorama do período de 2000 a 2021. Brasília, DF: Embrapa Sede, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-tematicas/insumos-agropecuarios/2022/114aro/apres-panorama-no-periodo-de-2000-a-2021.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2026.

CATANEO, J. V.; CAVICHIOLI, F. A. Agricultura de precisão: o uso da agricultura digital no campo. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, v. 20, n. 1, p. 435–446, 2023. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1575>. Acesso em: 30 out. 2025.

CUBA, I. Tecnologias e inovação para aumento de produtividade no campo. **Nutrição de Safras**, 2024. Disponível em: <https://o2hub.com.br/noticias-tech/tecnologias-e-inovacao-para-aumento-de-produtividade-no-campo/>. Acesso em: 30 set. 2025.

FERNANDES, D. Drone na agricultura: quais os benefícios e como utilizar. **Nutrição de Safras**, 2024. Disponível em: <https://nutricaodesafras.com.br/drone-na-agricultura>. Acesso em: 30 set. 2025.

FURTADO, K. D. C. *et al.* O papel dos drones na agricultura 4.0 e 5.0: auxílio tecnológico para uma agricultura eficiente, produtiva e sustentável. *In: Tecnologia e Inovação em Ciências Agrárias e Biológicas: Avanços para a Sociedade Atual*. [S. l.]: Seven Editora, 2023. Disponível em: <https://books.google.com.br>. Acesso em: 20 abr. 2026.

GIACOMINI, L. T. **Implantação da agricultura de precisão em cultivo de soja na Fazenda Giacomini localizada em Xanxerê-SC**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/27218/1/agriculturaprecisaosojaxanxe.pdf>. Acesso em: 7 out. 2025.

GÓES, B. C.; PUTTI, F. F.; SILVA, A. B. da. **Inovação sustentável na agropecuária**. [S. l.]: Pantanal Editora, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.46420/9786588319987>. Acesso em: 17 out. 2025.

HAMMERSCHMIDT, J. M. **Agricultura de Precisão**: cultura da soja no sul do Brasil. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Fertilidade do Solo e

Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/70164>. Acesso em: 30 set. 2025.

HEMALATHA, S.; SANGEETHA, M. Identificação de pragas na agricultura de precisão usando aquisição de dados de imagem de baixo custo. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 84, e281671, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.281671>. Acesso em: 20 abr. 2026.

INAMASU, R. Y. *et al.* **Agricultura de precisão**: perspectiva histórica e de constante transformação. São Carlos, SP: Editora Cubo, 2024. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1169415>. Acesso em: 17 mar. 2026.

JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. *In*: BERNARDI, A. C. de C. *et al.* (ed.). **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109–134. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1003485>. Acesso em: 23 mar. 2026.

MANOSO, M. J.; GARCIA, J. C. Análise econômica da agricultura de precisão. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2006, São Pedro, SP. **Anais [...]**. Piracicaba: USP; ESALQ, 2006. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/485410>. Acesso em: 17 mar. 2026.

MENDES, L. G. Como diminuir custos da lavoura de soja com gestão agrícola. **CHB Agro**, 2022. Disponível em: <https://chb.com.br/agro/blog/como-diminuir-custos-da-lavoura-de-soja-com-gestao-agricola>. Acesso em: 17 out. 2025.

NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. de. **Agricultura de baixo carbono**: tecnologias e estratégias de implantação. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes>. Acesso em: 30 set. 2025.

OLIVEIRA, M. A. de *et al.* Precision agriculture use in management and correction in soil heveiculture. **Revista Científica de Engenharia Agrícola**, v. 6, n. 1, p. 119–133, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.29247/2358-260X.2019v6i1.p119-133>. Acesso em: 30 set. 2025.

PEREIRA, D. C.; FERNANDES, L. F. S.; FERNANDES, D. As vantagens da utilização de drones no agronegócio e na agricultura de precisão. **Revista Alomorfia**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 705–716, 2023. Disponível em: <https://alomorfia.com.br/index.php/alomorfia/article/view/163>. Acesso em: 20 abr. 2026.

PRUDÊNCIO, A. B. C. *et al.* **A importância da agricultura de precisão na cultura da soja**. Santa Cruz do Rio Pardo: ETEC Orlando Quagliato, 2021. Disponível em: <https://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com>. Acesso em: 30 set. 2025.

RESENDE, A. V. de *et al.* Agricultura de precisão no Brasil: avanços e impactos no manejo e na conservação do solo, na sustentabilidade e na segurança alimentar. *In*:

BERNARDI, A. C. de C. *et al.* (ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 467-488. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 30 set. 2025.

RIBEIRO, G.; CAVICHOLI, F. Agricultura de precisão: uso de drones para mapeamento de áreas agrícolas. **Revista Interface Tecnológica**, v. 19, n. 2, p. 561–571, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.31510/infa.v19i2.1441>. Acesso em: 15 abr. 2026.

SILVA, E. I.; OLIVEIRA, L. D. S. J.; SILVA, C. P. da. Importância da gestão, tecnologia e da agricultura de precisão na eficiência produtiva de uma propriedade rural. *In: Inovações em pesquisas agrárias e ambientais: volume XIII*. Corumbá: Pantanal Editora, 2025. p. 16–28. Disponível em: <https://editorapantanal.com.br>. Acesso em: 20 abr. 2026.

VIAN, A. L. *et al.* Ecologia, fisiologia e práticas culturais: aplicações da agricultura de precisão na cultura da soja. *In: MARTIN, T. N.; PIRES, J. L. F.; VEY, R. T. (org.). Tecnologias aplicadas para o manejo rentável e eficiente da cultura da soja*. Santa Maria: GR, 2022. p. 275–296. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 24 mar. 2026.

ZANIN, A. R. A. *et al.* **Redução da aplicação de pesticidas através de pulverização de precisão em tempo real**. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, 2022. Disponível em: <https://ppgagronomiapcs.ufms.br>. Acesso em: 7 out. 2025.