

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA - UFSM CAMPUS DE
FREDERICO WESTPHALEN DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS
AGRONÔMICAS E AMBIENTAIS

ANDERSON NUNES DE BEM

USO DE DRONES NA AGRICULTURA

Frederico Westphalen, RS

2024

ANDERSON NUNES DE BEM

USO DE DRONES NA AGRICULTURA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Fernando Panno

Frederico Westphalen, RS

2024

ANDERSON NUNES DE BEM

USO DE DRONES NA AGRICULTURA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em xx de xx de xx:

Prof. Dr. Fernando Panno (UFSM) (Orientador)

Comissão de avaliação (UFSM)

Comissão de avaliação (UFSM)

Frederico Westphalen, RS

2024

RESUMO

USO DE DRONES NA AGRICULTURA

AUTOR: Anderson Nunes de Bem

ORIENTADOR: Prof. Dr. Fernando Panno

A agricultura moderna enfrenta desafios significativos, incluindo a necessidade de aumentar a produtividade, reduzir custos e promover a sustentabilidade ambiental. Neste contexto, a tecnologia de drones tem emergido como uma solução inovadora, oferecendo uma gama de benefícios para o monitoramento de culturas, mapeamento de terrenos, aplicação precisa de insumos e gestão eficiente de recursos hídricos. Este estudo explora o impacto dos drones na agricultura, destacando suas aplicações, vantagens e os desafios para sua adoção. O objetivo deste estudo foi avaliar o uso de drones na agricultura, analisando suas principais aplicações, os benefícios oferecidos e os desafios enfrentados para a sua implementação. O estudo busca fornecer uma visão abrangente sobre como os drones podem transformar práticas agrícolas e contribuir para a sustentabilidade e eficiência do setor. A metodologia deste estudo envolve uma revisão bibliográfica de fontes acadêmicas, artigos de revistas especializadas e relatórios técnicos sobre o uso de drones na agricultura. Foram analisados estudos de caso, dados empíricos e relatos de experiências práticas para compreender as diferentes aplicações dos drones e os benefícios observados. A revisão também incluiu a análise de desafios técnicos, econômicos e regulatórios relacionados à adoção de drones no campo agrícola. O uso de drones na agricultura representa uma revolução tecnológica com potencial para transformar as práticas agrícolas. Os drones oferecem precisão e eficiência na aplicação de insumos, monitoramento contínuo das plantações, mapeamento detalhado de terrenos e gestão otimizada de recursos hídricos. Essas capacidades resultam em aumento da produtividade, redução de custos operacionais e promoção de práticas agrícolas sustentáveis. No entanto, a adoção de drones enfrenta desafios significativos, incluindo altos custos iniciais, necessidade de treinamento especializado e infraestrutura limitada. Além disso, regulamentações claras e incentivos governamentais são essenciais para facilitar a adoção desta tecnologia. Superar esses desafios é crucial para maximizar os benefícios dos drones na agricultura, promovendo uma agricultura mais eficiente, sustentável e inovadora.

Palavras-chave: Drones. Agricultura. Monitoramento de Culturas. Sustentabilidade. Eficiência Operacional. Tecnologia Agrícola.

ABSTRACT

Modern agriculture faces significant challenges, including the need to increase productivity, reduce costs, and promote environmental sustainability. In this context, drone technology has emerged as an innovative solution, offering a range of benefits for crop monitoring, terrain mapping, precise application of inputs, and efficient water resource management. This study explores the impact of drones in agriculture, highlighting their applications, advantages, and challenges for adoption. The objective of this study was to evaluate the use of drones in agriculture, analyzing their main applications, the benefits offered, and the challenges faced for their implementation. The study aims to provide a comprehensive view of how drones can transform agricultural practices and contribute to the sustainability and efficiency of the sector. The methodology of this study involves a literature review of academic sources, specialized journal articles, and technical reports on the use of drones in agriculture. Case studies, empirical data, and practical experience reports were analyzed to understand the different applications of drones and the observed benefits. The review also included an analysis of technical, economic, and regulatory challenges related to the adoption of drones in agriculture. The use of drones in agriculture represents a technological revolution with the potential to transform agricultural practices. Drones offer precision and efficiency in the application of inputs, continuous monitoring of crops, detailed terrain mapping, and optimized water resource management. These capabilities result in increased productivity, reduced operational costs, and the promotion of sustainable agricultural practices. However, the adoption of drones faces significant challenges, including high initial costs, the need for specialized training, and limited infrastructure. Moreover, clear regulations and government incentives are essential to facilitate the adoption of this technology. Overcoming these challenges is crucial to maximizing the benefits of drones in agriculture, promoting a more efficient, sustainable, and innovative agricultural sector.

Keywords: Drones. Agriculture. Crop Monitoring. Sustainability. Operational Efficiency. Agricultural Technology.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 Agricultura.....	9
2.2. Aplicações dos Drones na Agricultura	11
2.2.1. Monitoramento de culturas	11
2.2.2. Mapeamento de terrenos.....	12
2.2.3. Detecção de pragas e doenças	<u>14</u> 13
2.3. Benefícios Potenciais dos Drones na Agricultura	<u>15</u> 14
2.3.1. Aumento da eficiência operacional	<u>15</u> 14
2.3.2. Redução do uso de insumos agrícolas	16
2.3.3. Melhorias na sustentabilidade	17
3 METODOLOGIA.....	19
3.1 Caracterização do estudo	19
3.2 Plano de coleta de dados.....	19
3.4 Plano de Apresentação e análise dos dados.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
5 CONCLUSÃO.....	<u>32</u>31
REFERÊNCIAS	<u>34</u>33

1. INTRODUÇÃO

Agricultura é uma atividade vital para a sustentabilidade e segurança alimentar global. No entanto, enfrenta desafios cada vez mais complexos, desde a necessidade de aumentar a produtividade para alimentar uma população crescente até a minimização do impacto ambiental. Nesse contexto, o uso de drones na agricultura emergiu como uma ferramenta revolucionária, prometendo otimizar o manejo de culturas e recursos de forma eficiente e sustentável.

Ao longo deste trabalho, exploraremos os diversos aspectos do uso de drones na agricultura, desde suas aplicações práticas até seus benefícios e desafios. Como destacado por Massruhá e Leite (2016), os drones têm o potencial de revolucionar a agricultura ao fornecer dados precisos e em tempo real sobre o estado das culturas, a saúde do solo e as necessidades hídricas, permitindo uma tomada de decisão mais informada por parte dos agricultores.

Além disso, examinou-se os diferentes tipos de drones utilizados na agricultura, como os drones multirotores e de asa fixa, e as tecnologias embarcadas, como sensores remotos e câmeras de alta resolução, que possibilitam a coleta de dados detalhados sobre as condições agrícolas. Prudkin e Breunig (2019) ressaltam que essa combinação de tecnologias permite uma análise mais precisa e abrangente das áreas cultivadas, identificando problemas como pragas, doenças e estresse hídrico de forma rápida e eficiente.

No entanto, apesar do enorme potencial, o uso de drones na agricultura também enfrenta desafios significativos, incluindo questões regulatórias, custos de implementação e integração com sistemas agrícolas existentes. Ao longo deste trabalho, discutiu-se esses desafios e explorou possíveis soluções para maximizar os benefícios dos drones na agricultura. Diante da crescente pressão para aumentar a produtividade agrícola de forma sustentável, é imperativo explorar e compreender plenamente o potencial dos drones como uma ferramenta viável para melhorar a eficiência e a rentabilidade das operações agrícolas.

Objetivo geral foi analisar o uso de drones na agricultura, investigando suas aplicações, benefícios e desafios, a fim de fornecer insights valiosos para agricultores, pesquisadores e formuladores de políticas. Objetivos Específicos foram identificar as principais aplicações dos drones na agricultura, incluindo monitoramento de culturas, mapeamento de terrenos e detecção de pragas e doenças. Avaliar os benefícios potenciais dos drones, como aumento da eficiência operacional, redução do uso de insumos agrícolas e melhorias na sustentabilidade. Investigar os desafios enfrentados na adoção de drones na

agricultura, como questões regulatórias, custos e integração com sistemas existentes. Propor estratégias e recomendações para superar esses desafios e maximizar o impacto positivo dos drones na agricultura. Por meio desta pesquisa, esperou-se contribuir para um melhor entendimento do papel dos drones na agricultura moderna e fornecer insights práticos para ajudar os agricultores a adotar e aproveitar plenamente essa tecnologia promissora.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AGRICULTURA

Ao longo dos anos, a agricultura brasileira passou por uma série de estágios e transformações significativas. Nas décadas de 1950 e 1960, menos de 2% de todas as propriedades rurais contavam com tecnologia mecânica, resultando em um serviço quase exclusivamente manual. Nesse período, o êxodo rural estava em ascensão, o que gerava uma demanda crescente por alimentos nas áreas urbanas. Como resposta, os produtores precisavam aumentar sua produção para atender a essa demanda, impulsionando o desenvolvimento de novas tecnologias para aumentar a produtividade. Isso incluiu a adoção de máquinas no campo, pesquisa de sementes, insumos agrícolas e aprimoramento dos implementos agrícolas e máquinas (GSI BRASIL, 2018).

A agricultura, como um conjunto de técnicas destinadas a cultivar terras para produção de alimentos, teve seu início há cerca de 11.500 anos. Esse marco histórico permitiu que os humanos se estabelecessem em um local, dando fim ao nomadismo, pois já não era necessário buscar alimentos constantemente. Os primeiros registros de cultivo datam das civilizações que habitavam as margens dos rios Tigre, Eufrates e Nilo, na região da Mesopotâmia (SIMÕES; SOLER; PY, 2017).

Com o passar do tempo, o avanço tecnológico se estendeu a todos os setores, incluindo as indústrias e as áreas de cultivo. Essas inovações possibilitaram atender à crescente demanda por alimentos da população, resultando na mecanização e automação crescentes das áreas agrícolas. Esse processo envolveu o desenvolvimento de máquinas agrícolas, insumos, produtos químicos e até mesmo aprimoramentos nas sementes (GSI BRASIL, 2018).

Uma modalidade emergente na agricultura, que ganha destaque tanto em grandes quanto em pequenas propriedades, é a Agricultura de Precisão (AP). A AP é um sistema que visa gerenciar áreas agrícolas com base na variação espacial e temporal da produtividade, com o objetivo de aumentar a sustentabilidade e o retorno econômico (SIMÕES; SOLER; PY, 2017). Esse enfoque na precisão e na gestão inteligente dos recursos promete transformar a agricultura, tornando-a mais eficiente e sustentável no longo prazo.

Massruhá e Leite (2016) destacam que as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) têm desempenhado um papel impactante em diversas áreas do conhecimento, permitindo a automação de processos, o armazenamento de dados e a troca de informações e conhecimentos. Esse avanço tecnológico também se reflete no campo, trazendo impactos

diretos para cooperativas e agroindústrias, com melhorias na produtividade, gestão e redução de custos.

A evolução tecnológica na agricultura deu origem ao conceito de "agricultura 4.0" ou "agricultura digital", inspirado na Indústria 4.0. Esse termo refere-se à adoção de tecnologias avançadas, como sistemas de rastreamento, sensores, câmeras, GPS, algoritmos inteligentes e modelos matemáticos, com o objetivo de agregar valor ao setor agrícola, estimulando processos inovadores e melhorando produtos e negócios (SIMÕES; SOLER; PY, 2017).

A difusão das tecnologias digitais na agricultura ocorre devido a três fatores principais: a utilização da base tecnológica em formato digital na geração e manipulação de conteúdos, o avanço da informática que possibilita o processamento mais rápido e com custos cada vez menores, e a evolução dos meios de comunicação que facilitam a expansão da internet (MASSRUHA; LEITE, 2017).

Por meio da agricultura digital, é possível alcançar ganhos significativos de produtividade e sustentabilidade. Produtores buscam constantemente inovações para tornar suas lavouras mais eficientes, enquanto usinas sucroenergéticas podem aproveitar os benefícios da informação em tempo real para otimizar seus processos (SIMÕES; SOLER; PY, 2017). A Associação das Indústrias Sucroenergéticas de Minas Gerais (SIAMIG, 2018) estima que 95% do aumento da produção de alimentos virá de tecnologias que ajudam os produtores a minimizar custos e maximizar benefícios para as usinas sucroenergéticas por meio da troca de informações.

Massruhá e Leite (2016) também ressaltam que a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) tem concentrado esforços em pesquisa, desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologia para diversos segmentos do agronegócio brasileiro. Essas iniciativas têm o potencial de melhorar a assimilação de tecnologias pelos produtores rurais e promover uma maior eficiência nos processos produtivos, o que pode beneficiar as usinas sucroenergéticas por meio de uma maior integração entre campo e empresa.

Conforme apontado pela Sociedade Nacional de Agricultura (2016), a agricultura está passando por uma revolução impulsionada pelas novas tecnologias. Essas inovações estão transformando profundamente as práticas agrícolas, oferecendo soluções inteligentes para aumentar a eficiência, a produtividade e a sustentabilidade no campo.

Uma das principais aplicações dessas novas tecnologias é o sistema de irrigação inteligente. Esse sistema utiliza dispositivos que acionam a irrigação de forma automatizada, ajustando a quantidade de água e nutrientes necessários para as plantas. Isso não apenas

otimiza o uso dos recursos hídricos, mas também contribui para um crescimento mais saudável das culturas, evitando tanto a escassez quanto o excesso de água (MASSRUHA; LEITE, 2017).

Outra importante tendência é a agricultura de precisão, que envolve o uso de inteligência embarcada, automação e redes de sensores locais para mapeamento de solos. Essa abordagem permite que os agricultores monitorem e gerenciem suas terras de forma mais precisa, ajustando as práticas agrícolas de acordo com as necessidades específicas de cada área. Com isso, é possível maximizar os rendimentos das colheitas, reduzir os custos e minimizar o impacto ambiental (OMEGA AGROSCIENCE, 2016).

Além disso, o monitoramento de doenças e variáveis meteorológicas por meio de sensores está se tornando cada vez mais comum. Essa tecnologia permite que os agricultores acompanhem de perto a saúde das plantas e as condições climáticas em tempo real. Os dados coletados são processados para gerar boletins informativos, auxiliando os agricultores na tomada de decisões relacionadas ao plantio, manejo e controle de doenças (FACHIN, 2019).

Por fim, o sensoriamento remoto está se destacando como uma ferramenta poderosa para obter informações sobre a produção agrícola e os aspectos ambientais e climáticos. Por meio de monitoramento remoto, os agricultores podem acessar dados detalhados sobre suas terras, identificar padrões e tendências e tomar medidas corretivas quando necessário. Isso não só ajuda a otimizar o uso dos recursos naturais, mas também permite uma resposta rápida a eventos adversos, como secas, inundações ou pragas (GSI BRASIL, 2018).

Essas tecnologias representam um grande avanço para a agricultura, oferecendo soluções inovadoras para os desafios enfrentados pelos agricultores modernos. Ao adotar essas ferramentas, os agricultores podem aumentar sua produtividade, reduzir seus custos e contribuir para um sistema agrícola mais sustentável e resiliente (GSI BRASIL, 2018).

2.2. APLICAÇÕES DOS DRONES NA AGRICULTURA

2.2.1. MONITORAMENTO DE CULTURAS

O monitoramento de culturas com o uso de drones representa uma das mais inovadoras e eficientes aplicações da tecnologia na agricultura moderna. Com o avanço da Agricultura 4.0, drones equipados com câmeras de alta resolução e sensores especializados proporcionam uma capacidade de coleta de dados extremamente detalhada e precisa,

permitindo aos agricultores monitorar suas plantações de maneira mais eficaz (GSI BRASIL, 2018).

Drones na agricultura possibilitam a captura de imagens aéreas que, quando analisadas, fornecem informações valiosas sobre o estado das culturas, incluindo o índice de vegetação, detecção de pragas, doenças, e estresse hídrico das plantas. Esse tipo de monitoramento contínuo permite aos agricultores tomar decisões informadas e em tempo hábil, resultando em intervenções mais eficazes e aumento da produtividade. De acordo com Giraldeleli (2019), a utilização de drones pode aumentar a lucratividade dos agricultores ao reduzir custos e otimizar o uso de insumos.

Os dados coletados pelos drones são transformados em mapas detalhados que exibem diversas informações sobre o estado da cultura. Essas informações são cruciais para o manejo de precisão, onde as intervenções podem ser feitas de forma localizada e específica, minimizando desperdícios e potencializando a saúde e o crescimento das plantas. Segundo Massruhá e Leite (2016), a agricultura digital, que inclui o uso de drones, representa uma transformação significativa nas práticas agrícolas tradicionais, promovendo a sustentabilidade e eficiência.

Além disso, os drones permitem o monitoramento de áreas de difícil acesso, garantindo que nenhuma parte da plantação fique desassistida. Isso é especialmente importante em grandes propriedades rurais, onde o monitoramento manual seria impraticável e ineficiente. Como destacado por Prudkin e Breunig (2019), drones equipados com câmeras não métricas são capazes de fornecer produtos cartográficos precisos que auxiliam na gestão de propriedades rurais e urbanas.

A implementação dessa tecnologia não apenas melhora o monitoramento das culturas, mas também contribui para a mitigação de riscos e a antecipação de problemas potenciais. Estudos como o de Alves Júnior (2015) demonstram que a utilização de drones em áreas rurais do Estado de Goiás tem proporcionado avanços significativos na análise e gestão agrícola, contribuindo para a inovação e desenvolvimento do setor. Portanto, o monitoramento de culturas com drones é uma aplicação que exemplifica o potencial transformador da tecnologia na agricultura, promovendo práticas mais sustentáveis, eficientes e lucrativas.

2.2.2. MAPEAMENTO DE TERRENOS

O mapeamento de terrenos é outra aplicação crucial dos drones na agricultura, proporcionando uma visão detalhada e precisa das propriedades rurais. Com a capacidade de voar a baixas altitudes e equipados com sensores avançados, os drones coletam dados geoespaciais que são fundamentais para a criação de mapas topográficos, ortomosaicos, modelos digitais de elevação (DEM), entre outros produtos cartográficos (SCHWAB, 2016).

O uso de drones para mapeamento de terrenos tem revolucionado a maneira como os agricultores e gestores de propriedades rurais planejam e executam suas atividades. Ao capturar imagens de alta resolução, os drones permitem a identificação de variações no solo, identificação de linhas de irrigação, planejamento de drenagem, e análise do uso da terra. Isso resulta em um melhor planejamento e uso eficiente dos recursos naturais, bem como na redução de custos operacionais (SCHWAB, 2016).

Segundo Júnior de Oliveira et al. (2020), a potencialidade dos drones na agricultura de precisão se deve à sua capacidade de coletar dados de maneira rápida e eficiente, transformando-os em informações acionáveis que auxiliam na tomada de decisões estratégicas. Esses dados são utilizados para criar mapas precisos que refletem as condições reais do terreno, permitindo intervenções mais precisas e eficientes.

Além disso, o mapeamento de terrenos com drones permite o monitoramento contínuo e em tempo real das propriedades rurais. Isso é particularmente útil para identificar problemas como erosão do solo, desmatamento ilegal, e outras questões ambientais que podem impactar negativamente a produtividade agrícola. Conforme Massruhá e Leite (2017), a integração de tecnologia digital na agricultura, incluindo o uso de drones, promove uma abordagem mais sustentável e inteligente para o manejo das terras agrícolas.

A análise detalhada do terreno proporcionada pelos drones também facilita a realização de levantamentos cadastrais e a demarcação de propriedades, garantindo que as fronteiras sejam respeitadas e que a gestão do solo seja otimizada. Alves Júnior (2015) destaca que a aplicação de câmeras digitais não métricas acopladas a drones tem demonstrado grande eficácia na obtenção de produtos cartográficos em áreas rurais e urbanas no Estado de Goiás, exemplificando a versatilidade e precisão dessa tecnologia.

Dessa forma, o mapeamento de terrenos com drones não só melhora a eficiência operacional das atividades agrícolas, mas também contribui para a sustentabilidade e conservação ambiental. A capacidade de monitorar e analisar grandes áreas de terra de forma rápida e precisa tornar os drones uma ferramenta indispensável para o futuro da agricultura (SCHWAB, 2016).

2.2.3. DETECÇÃO DE PRAGAS E DOENÇAS

A detecção de pragas e doenças em culturas agrícolas é uma das aplicações mais importantes dos drones na agricultura moderna. Equipados com câmeras multiespectrais e sensores térmicos, os drones são capazes de identificar sinais precoces de infestação e infecção, permitindo que os agricultores tomem medidas preventivas antes que os problemas se tornem severos (SCUSSEL, 2016).

Os drones sobrevoam as plantações e capturam imagens detalhadas que, quando analisadas, revelam padrões de crescimento anormais, manchas nas folhas, e outras indicações visuais de pragas e doenças. Esse tipo de monitoramento contínuo e em tempo real é crucial para manter a saúde das culturas e minimizar perdas. Segundo Scussel (2016), a utilização de drones permite a detecção precoce de problemas fitossanitários, o que é essencial para intervenções rápidas e eficazes.

A detecção de pragas e doenças com drones não só aumenta a precisão das intervenções, mas também contribui para a sustentabilidade da agricultura. Ao identificar a presença de pragas e doenças em estágios iniciais, os agricultores podem aplicar pesticidas e tratamentos apenas nas áreas afetadas, reduzindo assim o uso de químicos e minimizando o impacto ambiental. De acordo com Massruhá e Leite (2016), essa abordagem de manejo integrado de pragas é fundamental para promover práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.

Além disso, os drones podem ser programados para realizar voos regulares e monitorar as culturas de forma contínua. Isso permite que os agricultores mantenham um registro atualizado da saúde das plantas ao longo do tempo, facilitando a identificação de tendências e padrões que podem indicar a necessidade de mudanças nos métodos de cultivo. Como destacado por Prudkin e Breunig (2019), a análise dos dados coletados pelos drones fornece insights valiosos que podem ser usados para otimizar as práticas agrícolas e melhorar a produtividade.

O uso de drones na detecção de pragas e doenças também é vantajoso em termos de custo e eficiência. Comparado aos métodos tradicionais de inspeção manual, os drones podem cobrir grandes áreas em um curto período, proporcionando uma visão abrangente e detalhada das culturas. Conforme Rodrigues Novaes (2018), essa eficiência operacional é um dos

principais benefícios da adoção de drones na agricultura, permitindo que os agricultores economizem tempo e recursos.

2.3. BENEFÍCIOS POTENCIAIS DOS DRONES NA AGRICULTURA

2.3.1. AUMENTO DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL

Os drones têm desempenhado um papel cada vez mais crucial no aumento da eficiência operacional na agricultura. A capacidade dos drones de coletar dados precisos e em tempo real sobre as condições das culturas, solos e água permite aos agricultores tomar decisões informadas rapidamente, resultando em operações mais eficientes e produtivas (SCUSSEL, 2016).

Uma das principais maneiras pelas quais os drones aumentam a eficiência operacional é através do monitoramento contínuo das plantações. Equipados com câmeras de alta resolução e sensores multiespectrais, os drones podem identificar problemas como pragas, doenças e deficiências nutricionais nas plantas antes que se tornem severos. Segundo Massruhá e Leite (2016), essa capacidade de detecção precoce permite aos agricultores intervir de maneira precisa e localizada, reduzindo o uso de pesticidas e fertilizantes e minimizando o impacto ambiental.

Além do monitoramento de culturas, os drones são utilizados para mapear terrenos agrícolas de forma rápida e precisa. A coleta de dados geoespaciais detalhados possibilita a criação de mapas topográficos e modelos digitais de elevação, que são essenciais para o planejamento e gestão das atividades agrícolas. Estudos como o de Alves Júnior (2015) demonstram que a utilização de câmeras digitais não métricas acopladas a drones tem sido eficaz na obtenção de produtos cartográficos, facilitando o manejo de grandes áreas de terra.

Os drones também desempenham um papel significativo na otimização das práticas de irrigação. Através do uso de sensores térmicos, os drones podem identificar áreas da plantação que estão sofrendo estresse hídrico. Essa informação permite aos agricultores ajustar seus sistemas de irrigação para garantir que todas as plantas recebam a quantidade adequada de água, promovendo o uso eficiente dos recursos hídricos. Como destacado por Giraldeli (2019), essa capacidade de monitoramento preciso e em tempo real pode resultar em economias significativas de água e aumento da produtividade.

Outra área onde os drones têm aumentado a eficiência operacional é na aplicação de insumos agrícolas. Equipados com sistemas de pulverização, os drones podem aplicar

pesticidas, herbicidas e fertilizantes de forma precisa e uniforme, cobrindo grandes áreas em um curto período de tempo. Isso não apenas reduz o tempo e os custos associados à aplicação manual, mas também garante que os insumos sejam distribuídos de maneira eficiente, melhorando a saúde das culturas e a produtividade geral (SCUSSEL, 2016).

Os benefícios dos drones na agricultura vão além da coleta e análise de dados. A automação das tarefas agrícolas, como a plantação de sementes e a colheita, também é uma área em crescimento. Com o uso de drones, essas tarefas podem ser realizadas com maior precisão e rapidez, liberando os agricultores para se concentrarem em outras atividades estratégicas. Prudkin e Breunig (2019) destacam que a incorporação de drones na rotina agrícola representa uma transformação significativa, promovendo operações mais eficientes e rentáveis.

2.3.2. REDUÇÃO DO USO DE INSUMOS AGRÍCOLAS

A aplicação de drones na agricultura tem se mostrado eficaz na redução do uso de insumos agrícolas, como pesticidas, herbicidas e fertilizantes. Este avanço tecnológico não só diminui os custos para os agricultores, mas também promove práticas agrícolas mais sustentáveis e ambientalmente amigáveis (PRUDKIN; BREUNIG, 2019).

A capacidade dos drones de realizar monitoramento preciso e em tempo real das culturas permite a identificação de áreas específicas que necessitam de tratamento. Equipados com câmeras multiespectrais e sensores avançados, os drones podem detectar sinais precoces de pragas, doenças e deficiências nutricionais nas plantas. Isso permite que os agricultores apliquem insumos apenas nas áreas afetadas, em vez de pulverizar uniformemente toda a plantação. Conforme Massruhá e Leite (2016), essa precisão no manejo das culturas é essencial para a redução do uso excessivo de insumos, resultando em menor impacto ambiental e custos operacionais mais baixos.

Além disso, os drones podem mapear detalhadamente os terrenos agrícolas, identificando variabilidades dentro do campo que podem não ser visíveis a olho nu. Esses mapas de alta resolução permitem a criação de zonas de manejo específico, onde os insumos podem ser aplicados de acordo com a necessidade real de cada área. Isso otimiza o uso de fertilizantes e pesticidas, evitando desperdícios e garantindo que cada planta receba a quantidade exata de nutrientes necessários para seu desenvolvimento. Giraldeleli (2019) destaca

que essa abordagem precisa no manejo das culturas é uma das principais vantagens dos drones, contribuindo significativamente para a eficiência dos insumos agrícolas.

A tecnologia dos drones também facilita a implementação de práticas de agricultura de precisão, onde a variabilidade das culturas é gerida de forma mais eficaz. Por exemplo, sensores de espectro visível e infravermelho em drones podem avaliar o índice de vegetação das plantas, indicando sua saúde e vigor. Com base nesses dados, os agricultores podem ajustar a aplicação de insumos para melhorar a eficiência do uso de recursos. Júnior de Oliveira et al. (2020) afirmam que a agricultura de precisão, viabilizada pelo uso de drones, é fundamental para a sustentabilidade da produção agrícola, promovendo o uso racional de insumos e a preservação dos recursos naturais.

Outro aspecto importante é a redução do impacto ambiental. O uso indiscriminado de pesticidas e fertilizantes pode levar à contaminação do solo e da água, afetando negativamente o ecossistema local. Ao permitir a aplicação precisa e localizada de insumos, os drones ajudam a minimizar esses efeitos negativos. Alves Júnior (2015) menciona que a aplicação de drones na agricultura tem potencial para melhorar significativamente a gestão ambiental, reduzindo a poluição e promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis.

A redução do uso de insumos agrícolas também tem implicações econômicas positivas. O custo dos insumos representa uma parte significativa do orçamento operacional de uma fazenda. Portanto, a capacidade de reduzir esses custos sem comprometer a produtividade é extremamente benéfica para os agricultores. Scussel (2016) observa que o uso de drones pode resultar em economias substanciais, aumentando a lucratividade das operações agrícolas.

2.3.3. MELHORIAS NA SUSTENTABILIDADE

O uso de drones na agricultura tem contribuído significativamente para melhorias na sustentabilidade, ajudando a promover práticas agrícolas que minimizam o impacto ambiental e preservam os recursos naturais. A precisão e a eficiência proporcionadas pelos drones estão transformando a maneira como os agricultores gerenciam suas terras e culturas, resultando em benefícios ambientais substanciais (PRUDKIN; BREUNIG, 2019).

Uma das maneiras mais importantes pelas quais os drones melhoram a sustentabilidade é através do uso eficiente de insumos agrícolas. Como discutido anteriormente, drones equipados com sensores avançados podem monitorar as culturas de

maneira precisa, identificando áreas específicas que necessitam de intervenção. Isso permite a aplicação direcionada de fertilizantes, pesticidas e herbicidas, reduzindo a quantidade total de químicos usados. De acordo com Massruhá e Leite (2016), essa abordagem de precisão é crucial para minimizar a contaminação do solo e da água, promovendo um ambiente agrícola mais limpo e seguro.

Os drones também auxiliam na conservação dos recursos hídricos, um aspecto crítico da sustentabilidade agrícola. Equipados com sensores térmicos e de umidade, os drones podem detectar áreas que sofrem de estresse hídrico e identificar padrões de uso da água. Isso permite que os agricultores ajustem seus sistemas de irrigação para usar a quantidade exata de água necessária, evitando o desperdício e preservando os recursos hídricos. Giraldeli (2019) destaca que a gestão eficiente da água é essencial para a sustentabilidade a longo prazo, especialmente em regiões onde a água é um recurso escasso.

Além disso, os drones ajudam a monitorar a saúde do solo e a implementar práticas de conservação do solo. Através do mapeamento detalhado do terreno e da análise das condições do solo, os drones fornecem informações valiosas que podem ser usadas para evitar a erosão do solo e promover a rotação de culturas. Júnior de Oliveira et al. (2020) apontam que a rotação de culturas e outras práticas de manejo sustentável são facilitadas pelo uso de drones, resultando em solos mais saudáveis e produtivos.

Outra área onde os drones contribuem para a sustentabilidade é na promoção da biodiversidade. O monitoramento contínuo e detalhado das plantações permite que os agricultores identifiquem e preservem habitats naturais e corredores de vida selvagem dentro de suas propriedades. Isso é fundamental para manter a biodiversidade e promover ecossistemas agrícolas saudáveis. Alves Júnior (2015) observa que o uso de drones para monitoramento ambiental tem se mostrado eficaz na preservação de áreas sensíveis e na promoção da coexistência harmoniosa entre a agricultura e a vida selvagem.

Os drones também têm um papel importante na gestão de resíduos agrícolas. Com a capacidade de monitorar e analisar grandes áreas de terra, os drones ajudam a identificar práticas que geram resíduos excessivos e a implementar estratégias para a sua redução. Isso inclui a compostagem de resíduos orgânicos e o uso de subprodutos agrícolas como fertilizantes naturais. Scussel (2016) menciona que a gestão eficaz de resíduos é uma componente chave da agricultura sustentável, ajudando a reduzir a pegada ambiental das operações agrícolas.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo adotou uma abordagem de revisão da literatura, com o objetivo de analisar e sintetizar as principais descobertas e tendências relacionadas ao uso de drones na agricultura. A revisão da literatura foi conduzida com base em uma ampla variedade de fontes, incluindo artigos científicos, relatórios técnicos, dissertações acadêmicas e publicações governamentais, selecionadas de acordo com sua relevância e credibilidade.

3.2 PLANO DE COLETA DE DADOS

O processo de coleta de dados foi realizado em etapas sistemáticas. Inicialmente, foi conduzida uma pesquisa abrangente em bases de dados acadêmicas, como PubMed, Scopus e Web of Science, utilizando termos de busca relevantes, como "drones na agricultura", "aplicações de drones na agricultura" e "benefícios dos drones na agricultura". Posteriormente, foram examinadas as referências bibliográficas dos artigos selecionados para identificar estudos adicionais pertinentes.

3.4 PLANO DE APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados coletados foram organizados e sintetizados de acordo com os principais temas identificados na literatura. As informações foram categorizadas em seções distintas, incluindo aplicações dos drones na agricultura, benefícios potenciais, desafios enfrentados e estratégias para superá-los. A análise dos dados envolveu uma avaliação crítica das evidências disponíveis, destacando padrões, lacunas de conhecimento e áreas de consenso ou controvérsia. Por meio deste método, buscou oferecer uma visão abrangente e atualizada do estado da arte do uso de drones na agricultura, fornecendo insights valiosos para agricultores, pesquisadores e formuladores de políticas interessados nesta área em rápida evolução.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apesar dos inúmeros benefícios e potencial transformador dos drones na agricultura, a sua adoção enfrenta uma série de desafios que precisam ser superados para que essa tecnologia possa ser plenamente integrada e utilizada de forma eficaz (ALVES JÚNIOR, 2015).

Um dos maiores desafios na adoção de drones na agricultura é o custo inicial de aquisição e manutenção dos equipamentos. Drones de alta qualidade, equipados com sensores avançados e câmeras multiespectrais, podem ser bastante caros, tornando difícil para pequenos e médios agricultores justificarem o investimento inicial. Além disso, há custos adicionais relacionados ao treinamento de pessoal para operar os drones e interpretar os dados coletados. Segundo Massruhá e Leite (2016), o alto custo inicial pode ser um fator limitante significativo para muitos agricultores, especialmente em países em desenvolvimento.

Outro desafio importante é a infraestrutura necessária para apoiar o uso de drones. Em muitas áreas rurais, a conectividade à internet é limitada ou inexistente, dificultando a transmissão e análise dos dados coletados pelos drones. A falta de infraestrutura adequada pode atrasar a implementação de soluções baseadas em drones e limitar sua eficácia. Alves Júnior (2015) destaca que a infraestrutura de suporte é essencial para o sucesso das tecnologias agrícolas digitais, incluindo drones.

A regulamentação do uso de drones é um desafio que varia de país para país. As leis e regulamentos relativos ao uso de drones podem ser complexos e, em alguns casos, restritivos, impedindo os agricultores de utilizar plenamente essa tecnologia. É necessário obter permissões e cumprir uma série de requisitos legais que podem ser burocráticos e demorados. Scussel (2016) aponta que a clareza e a consistência nas regulamentações são cruciais para facilitar a adoção de drones na agricultura.

A adoção bem-sucedida de drones na agricultura também depende da capacidade técnica e do conhecimento dos agricultores e operadores de drones. O uso eficaz de drones requer habilidades em pilotagem, manutenção de equipamentos e análise de dados. Muitos agricultores podem não ter o conhecimento técnico necessário para operar drones de maneira eficaz ou interpretar os dados coletados. Giraldeleli (2019) sugere que programas de treinamento e educação são fundamentais para capacitar os agricultores e maximizar os benefícios dos drones.

A integração dos dados coletados por drones com os sistemas de gerenciamento agrícola existentes pode ser desafiadora. Os dados precisam ser compatíveis e facilmente integrados com outros sistemas de gestão agrícola para que possam ser utilizados de maneira eficaz. Essa integração pode exigir investimentos adicionais em software e tecnologia, além de suporte técnico contínuo. Júnior de Oliveira et al. (2020) mencionam que a interoperabilidade dos sistemas é um fator chave para o sucesso da agricultura digital.

O uso de drones levanta preocupações sobre privacidade e segurança. A coleta de dados detalhados e a capacidade dos drones de sobrevoar áreas privadas podem ser vistas como invasivas, levando a preocupações sobre a privacidade dos dados e o uso indevido das informações coletadas. Assegurar que os dados sejam protegidos e utilizados de forma ética é um desafio que precisa ser abordado. Massruhá e Leite (2016) ressaltam a importância de estabelecer políticas claras de privacidade e segurança para ganhar a confiança dos agricultores e das comunidades.

Embora os drones possam promover práticas agrícolas mais sustentáveis, a sua produção, manutenção e operação também têm um impacto ambiental. A fabricação de drones envolve o uso de materiais e energia, e a operação dos drones requer eletricidade e, em alguns casos, combustíveis fósseis. Considerar o ciclo de vida completo dos drones e minimizar seu impacto ambiental é essencial para garantir que eles realmente contribuam para a sustentabilidade agrícola. Alves Júnior (2015) discute a necessidade de equilibrar os benefícios tecnológicos com a consciência ambiental.

Enquanto os drones oferecem um enorme potencial para transformar a agricultura, há diversos desafios que precisam ser enfrentados para que essa tecnologia possa ser adotada amplamente e de forma eficaz. Abordar questões de custo, infraestrutura, regulamentação, capacidade técnica, integração de sistemas, privacidade e sustentabilidade é crucial para maximizar os benefícios dos drones e promover uma agricultura mais eficiente e sustentável (ALVES JÚNIOR, 2015).

A adoção de drones na agricultura enfrenta vários desafios regulatórios que podem dificultar a sua implementação e utilização eficaz. As questões regulatórias envolvem aspectos legais, segurança, privacidade e padrões operacionais que precisam ser abordados para facilitar a integração desta tecnologia no setor agrícola (GIRALDELI, 2019).

Um dos principais desafios regulatórios é a criação de uma legislação clara e consistente que permita o uso seguro e eficaz de drones na agricultura. Em muitos países, as leis sobre o uso de drones são complexas e podem ser restritivas, exigindo licenças

específicas, registro de equipamentos e cumprimento de diversas normas de segurança. De acordo com Scussel (2016), a falta de clareza e a variabilidade nas regulamentações entre diferentes regiões podem dificultar a adoção de drones pelos agricultores, que muitas vezes encontram barreiras burocráticas significativas.

A segurança operacional dos drones é uma preocupação fundamental que está fortemente regulamentada. As autoridades de aviação civil em diversos países estabelecem regras rigorosas para garantir que os drones não representem um risco para aeronaves tripuladas, pessoas e propriedades no solo. Isso inclui limitações de altitude, zonas de exclusão aérea e requisitos de visibilidade. Giraldeli (2019) destaca que os operadores de drones devem ser devidamente treinados e certificados para garantir a conformidade com essas normas de segurança, o que pode adicionar custos e complexidade ao uso de drones na agricultura.

As questões de privacidade e proteção de dados são outras áreas críticas das regulamentações de drones. A capacidade dos drones de capturar imagens e dados detalhados levanta preocupações sobre a invasão de privacidade e o uso indevido de informações coletadas. As regulamentações muitas vezes exigem que os operadores de drones respeitem a privacidade das pessoas e obtenham consentimento quando necessário para a coleta de dados. Massruhá e Leite (2016) ressaltam a importância de políticas claras e transparentes sobre a coleta e uso de dados para ganhar a confiança do público e dos agricultores.

A falta de padrões e certificações uniformes para drones e seus componentes também representa um desafio regulatório. Padrões consistentes são necessários para garantir a qualidade e a interoperabilidade dos drones usados na agricultura. Júnior de Oliveira et al. (2020) mencionam que a ausência de normas padronizadas pode levar a problemas de compatibilidade entre diferentes sistemas e dificultar a integração de tecnologias de drones com outras ferramentas de gestão agrícola.

A integração segura dos drones no espaço aéreo é um desafio significativo, especialmente em áreas onde há tráfego aéreo denso. As autoridades de aviação civil estão trabalhando para desenvolver sistemas de gerenciamento de tráfego aéreo que incluam drones, permitindo que eles operem de forma segura ao lado de aeronaves tripuladas. Alves Júnior (2015) discute a necessidade de soluções tecnológicas avançadas, como sistemas de detecção e evitação, para facilitar essa integração e garantir a segurança de todas as operações aéreas.

As questões de responsabilidade e seguro para operações com drones são complexas e ainda estão evoluindo. Os operadores de drones devem ser cobertos por seguros que protejam

contra danos a terceiros e responsabilidades legais. As regulamentações muitas vezes exigem que os operadores possuam seguro adequado para cobrir potenciais acidentes ou incidentes que possam ocorrer durante as operações. Scussel (2016) observa que a obtenção de seguros específicos para drones pode ser onerosa e burocrática, representando um obstáculo adicional para a adoção desta tecnologia.

À medida que a tecnologia de drones evolui rapidamente, as regulamentações também precisam ser adaptadas para acompanhar essas mudanças. As autoridades reguladoras enfrentam o desafio de criar políticas que sejam flexíveis o suficiente para acomodar novas inovações, ao mesmo tempo que garantem a segurança e a proteção do público. Giraldeleli (2019) sugere que a colaboração entre governos, indústrias e pesquisadores é crucial para desenvolver um quadro regulatório que apoie a inovação e a adoção de drones na agricultura de forma segura e eficiente.

A implementação de drones na agricultura envolve uma série de custos que podem representar um desafio significativo para os agricultores, especialmente para pequenos e médios produtores. Esses custos podem ser divididos em várias categorias, incluindo a aquisição de equipamentos, treinamento, manutenção, e software de análise de dados. A compreensão desses custos é essencial para avaliar a viabilidade econômica do uso de drones na agricultura (GIRALDELI, 2019).

O custo inicial de aquisição de drones é um dos maiores obstáculos para muitos agricultores. Drones de alta qualidade, equipados com sensores multiespectrais, câmeras de alta resolução e sistemas de navegação avançados, podem ser bastante caros. De acordo com Massruhá e Leite (2016), os drones profissionais usados na agricultura podem variar de milhares a dezenas de milhares de dólares, dependendo das especificações e capacidades. Esse custo inicial pode ser proibitivo para pequenos agricultores que operam com margens de lucro estreitas.

Outro custo significativo é o treinamento necessário para operar drones de forma eficaz. Os operadores de drones devem ser treinados não apenas para pilotar os dispositivos, mas também para coletar e interpretar dados de maneira adequada. Este treinamento pode incluir cursos de pilotagem, workshops sobre análise de dados e certificações de conformidade regulatória. Giraldeleli (2019) observa que o custo do treinamento pode variar significativamente, dependendo da complexidade do sistema de drones e do nível de habilidade exigido.

Os drones requerem manutenção regular para garantir seu funcionamento seguro e eficiente. Isso inclui inspeções de rotina, reparos de componentes danificados e atualizações de software. A manutenção preventiva é crucial para prolongar a vida útil dos drones e evitar falhas durante operações críticas. Júnior de Oliveira et al. (2020) destacam que a manutenção pode representar um custo contínuo e variável, dependendo da frequência de uso e das condições operacionais.

O software de análise de dados é uma parte essencial da utilização de drones na agricultura. Após a coleta de dados, os agricultores precisam de ferramentas para processar e interpretar essas informações, transformando-as em insights acionáveis. O software especializado para análise de imagens aéreas e dados multiespectrais pode ser caro, e muitas vezes requer uma licença anual ou uma assinatura. Alves Júnior (2015) menciona que o investimento em software é crítico para maximizar os benefícios dos drones, mas pode adicionar uma camada adicional de custo.

A implementação de drones também pode exigir investimentos em infraestrutura de suporte, como estações de carregamento, áreas seguras para decolagem e pouso, e armazenamento seguro para os dispositivos. Além disso, a conectividade à internet e a capacidade de transmissão de dados são essenciais para operações em tempo real e análise de dados. Scussel (2016) ressalta que a falta de infraestrutura adequada pode aumentar os custos e dificultar a operação eficiente dos drones.

Os operadores de drones devem garantir que suas operações estejam em conformidade com as regulamentações locais e nacionais, o que pode incluir a obtenção de permissões e seguros adequados. O seguro é necessário para cobrir potenciais danos a terceiros, bem como para proteger os equipamentos contra acidentes e roubo. Giraldeli (2019) observa que os custos de seguro podem ser significativos e variam dependendo da extensão da cobertura e dos requisitos regulatórios locais.

Para justificar o investimento em drones, os agricultores precisam avaliar o retorno sobre o investimento (ROI). Isso envolve comparar os custos de implementação com os benefícios econômicos obtidos, como aumentos na produtividade, reduções nos custos de insumos e melhorias na eficiência operacional. Massruhá e Leite (2016) sugerem que, embora os custos iniciais possam ser altos, os benefícios a longo prazo dos drones podem justificar o investimento, especialmente quando utilizados de forma estratégica e integrada com outras tecnologias agrícolas.

A integração de drones com sistemas agrícolas existentes é um aspecto crucial para maximizar os benefícios dessa tecnologia. No entanto, essa integração enfrenta diversos desafios técnicos e operacionais que precisam ser superados para garantir uma implementação eficaz e eficiente. A compatibilidade entre sistemas, a interoperabilidade de dados e a adaptação de processos são algumas das questões-chave a serem abordadas (SIMÕES; SOLER, 2017).

Um dos principais desafios na integração de drones é garantir a compatibilidade entre os drones e os sistemas de gerenciamento agrícola já em uso. Muitas fazendas utilizam uma variedade de ferramentas e softwares para monitoramento de culturas, gestão de irrigação, controle de insumos e análise de solo. A integração eficaz dos drones requer que esses sistemas sejam capazes de comunicar e compartilhar dados de maneira harmoniosa. Segundo Massruhá e Leite (2016), a falta de padrões uniformes e protocolos de comunicação pode dificultar essa compatibilidade, criando barreiras para a adoção de drones.

A coleta de dados por drones gera uma grande quantidade de informações que precisam ser processadas e analisadas para serem úteis. A interoperabilidade de dados, ou a capacidade de diferentes sistemas de processar e interpretar esses dados de maneira consistente, é um desafio significativo. Giraldeli (2019) destaca que os dados coletados por drones devem ser compatíveis com os formatos de dados usados pelos sistemas de gestão agrícola existentes para permitir uma análise integrada e eficiente. A falta de interoperabilidade pode resultar em perda de informações valiosas e aumento da complexidade operacional.

A integração de drones também exige a adaptação dos processos operacionais nas fazendas. Isso inclui a incorporação de novos fluxos de trabalho para a coleta, processamento e análise de dados de drones. Além disso, os agricultores e operadores devem ser treinados para utilizar essas novas tecnologias de maneira eficaz. Júnior de Oliveira et al. (2020) apontam que a mudança nos processos pode ser desafiadora, especialmente para aqueles que estão acostumados a métodos tradicionais de agricultura. A resistência à mudança e a necessidade de treinamento contínuo são barreiras adicionais a serem superadas.

Uma das estratégias mais eficazes para superar os desafios de integração é o desenvolvimento de padrões e protocolos uniformes para a comunicação e compartilhamento de dados entre drones e sistemas de gestão agrícola. Isso inclui a criação de APIs (Interfaces de Programação de Aplicações) e formatos de dados padronizados que facilitem a interoperabilidade. Scussel (2016) menciona que a colaboração entre fabricantes de drones,

desenvolvedores de software e organizações agrícolas é crucial para o estabelecimento de tais padrões, garantindo que diferentes sistemas possam trabalhar juntos de maneira eficiente.

Outra estratégia é o investimento em soluções de software integradas que sejam capazes de processar e analisar dados de drones em conjunto com outros dados agrícolas. Esses softwares devem ser projetados para serem compatíveis com uma ampla gama de dispositivos e sistemas, facilitando a integração e a análise de dados. Alves Júnior (2015) sugere que a adoção de plataformas de software que ofereçam funcionalidades integradas pode reduzir a complexidade operacional e melhorar a eficiência da gestão agrícola.

O treinamento e a capacitação contínuos dos agricultores e operadores de drones são fundamentais para garantir a adoção bem-sucedida dessa tecnologia. Programas de treinamento devem abranger não apenas o uso técnico de drones, mas também a interpretação de dados e a integração desses dados nos sistemas de gestão existentes. Giraldeleli (2019) enfatiza a importância de parcerias com instituições educacionais e de pesquisa para oferecer cursos e workshops que preparem os agricultores para utilizar drones de maneira eficaz.

Estabelecer parcerias e colaborações com empresas de tecnologia, universidades e instituições de pesquisa pode facilitar a integração de drones na agricultura. Essas parcerias podem fornecer acesso a recursos, conhecimentos e tecnologias que são essenciais para superar os desafios de integração. Júnior de Oliveira et al. (2020) destacam que a colaboração entre o setor agrícola e o setor de tecnologia pode acelerar o desenvolvimento de soluções inovadoras e promover a adoção de drones.

Implementar programas piloto e realizar testes de campo são estratégias eficazes para identificar e resolver problemas de integração antes da implementação em larga escala. Esses programas permitem que os agricultores experimentem o uso de drones em um ambiente controlado, testando a compatibilidade e a eficácia das novas tecnologias. Scussel (2016) observa que os pilotos podem fornecer insights valiosos sobre os desafios práticos e operacionais, permitindo ajustes e melhorias antes da adoção completa.

A regulamentação adequada é fundamental para o desenvolvimento e a adoção segura de drones na agricultura. A criação de normas e diretrizes claras garante que o uso de drones seja seguro, eficiente e aceitável do ponto de vista legal e social. No entanto, desenvolver e implementar uma regulamentação que atenda às necessidades de segurança e operacionalidade dos drones, enquanto promove a inovação e a acessibilidade, é um desafio complexo (Simões; Soler, 2017).

Uma regulamentação eficaz deve priorizar a segurança, tanto para operadores de drones quanto para o público em geral. Isso inclui a definição de limites de altitude, zonas de exclusão aérea, e requisitos para manutenção e operação segura dos drones. Giraldeli (2019) ressalta que as normas de segurança devem ser claras e consistentes para evitar acidentes e garantir que os drones possam operar de maneira segura em diversos ambientes agrícolas.

Para garantir que os operadores de drones estejam qualificados e capacitados, a regulamentação deve incluir requisitos de licenciamento e certificação. Os operadores devem passar por treinamento adequado e ser certificados para operar drones de forma profissional. Massruhá e Leite (2016) destacam que a certificação ajuda a assegurar que os operadores tenham o conhecimento necessário para utilizar drones de maneira eficaz e segura, reduzindo o risco de acidentes e mau uso da tecnologia.

A proteção da privacidade é uma preocupação importante na regulamentação do uso de drones. As diretrizes devem garantir que a coleta de dados seja feita de maneira ética e que os dados pessoais sejam protegidos contra usos indevidos. Alves Júnior (2015) menciona que a regulamentação deve incluir disposições sobre o consentimento para a coleta de dados e o uso seguro e responsável das informações coletadas por drones.

Uma regulamentação eficaz deve ser suficientemente flexível para acomodar avanços tecnológicos e novas aplicações de drones na agricultura. Isso inclui a revisão periódica das normas para refletir as mudanças na tecnologia e nas práticas agrícolas. Scussel (2016) sugere que a colaboração entre autoridades reguladoras, fabricantes de drones, e a comunidade agrícola é essencial para desenvolver regulamentos que promovam a inovação, ao mesmo tempo que garantem a segurança e a conformidade.

Para facilitar a adoção de drones, as regulamentações também podem incluir incentivos para os agricultores, como subsídios, financiamentos e programas de apoio técnico. Esses incentivos podem ajudar a mitigar os custos iniciais e tornar a tecnologia mais acessível para pequenos e médios agricultores. Júnior de Oliveira et al. (2020) destacam que políticas de incentivo podem ser eficazes para aumentar a adoção de tecnologias inovadoras e promover práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

A redução dos custos associados ao uso de drones na agricultura é crucial para a adoção generalizada dessa tecnologia. Estratégias para reduzir os custos envolvem tanto a diminuição dos custos iniciais de aquisição quanto a redução dos custos operacionais e de manutenção ao longo do tempo (SIMÕES; SOLER, 2017).

Uma das maneiras mais eficazes de reduzir os custos de drones é através das economias de escala. À medida que a demanda por drones aumenta e a produção se expande, os custos unitários de fabricação tendem a diminuir. Isso pode tornar os drones mais acessíveis para um maior número de agricultores. Massruhá e Leite (2016) sugerem que políticas que incentivem a adoção em larga escala, como compras coletivas e subsídios governamentais, podem ajudar a reduzir os custos iniciais de aquisição.

Investir no desenvolvimento de tecnologias de drones mais acessíveis é outra estratégia importante. Isso inclui a criação de modelos de drones mais baratos, mas ainda eficazes, e o desenvolvimento de sensores e câmeras de baixo custo que podem ser acoplados aos drones. Alves Júnior (2015) menciona que a inovação tecnológica e a competitividade no mercado de drones podem levar a uma redução significativa nos custos de equipamentos.

A oferta de programas de treinamento e capacitação a baixo custo ou gratuitos pode ajudar a reduzir os custos associados à operação de drones. Isso inclui a formação de operadores de drones, bem como a educação sobre a análise e interpretação de dados coletados. Giraldeli (2019) observa que a capacitação adequada não só melhora a eficiência operacional, mas também pode reduzir os custos associados a erros e acidentes.

A manutenção regular e preventiva dos drones pode ajudar a evitar reparos caros e prolongar a vida útil dos equipamentos. Oferecer suporte técnico acessível e programas de manutenção preventiva pode reduzir os custos operacionais ao longo do tempo. Júnior de Oliveira et al. (2020) destacam que a manutenção preventiva é uma estratégia eficaz para minimizar interrupções e garantir o funcionamento contínuo dos drones.

Governos e instituições podem oferecer incentivos fiscais e subsídios para a compra e uso de drones na agricultura. Esses incentivos podem incluir deduções fiscais, créditos tributários e programas de financiamento a baixo custo. Scussel (2016) sugere que essas medidas podem reduzir significativamente os custos iniciais e operacionais, tornando a tecnologia de drones mais acessível para agricultores de todas as escalas.

Estabelecer parcerias público-privadas pode ajudar a reduzir os custos e promover a adoção de drones na agricultura. Essas parcerias podem fornecer recursos financeiros, técnicos e educacionais, além de facilitar o acesso a tecnologias e infraestruturas avançadas. Massruhá e Leite (2016) mencionam que as parcerias colaborativas são essenciais para superar barreiras financeiras e promover a inovação tecnológica no setor agrícola.

A integração tecnológica dos drones na agricultura é um processo complexo que envolve a harmonização de diversas tecnologias para otimizar o gerenciamento agrícola e

maximizar a eficiência das operações. Esta integração abrange desde a coleta de dados até a análise e a aplicação de informações em tempo real, requerendo a colaboração de várias ferramentas tecnológicas e sistemas de informação (SCUSSEL, 2016).

A coleta de dados é o primeiro passo na integração tecnológica dos drones na agricultura. Drones equipados com câmeras de alta resolução, sensores multiespectrais, térmicos e LiDAR (Light Detection and Ranging) são capazes de capturar uma vasta quantidade de informações sobre as plantações, solo e recursos hídricos. Massruhá e Leite (2016) afirmam que a qualidade e a precisão dos dados coletados são cruciais para a tomada de decisões informadas e eficientes. Estes dados incluem imagens de alta resolução que podem ser processadas para gerar mapas detalhados de saúde das culturas, índices de vegetação e topografia do solo.

Após a coleta, os dados devem ser processados e analisados para extrair informações úteis. Este processamento pode incluir a criação de ortomosaicos, mapas de índice de vegetação (NDVI), e modelos digitais de elevação (DEM). Softwares de análise geoespacial, como GIS (Sistema de Informação Geográfica), desempenham um papel fundamental na interpretação desses dados. Giraldele (2019) ressalta que a capacidade de transformar grandes volumes de dados em insights acionáveis é essencial para o sucesso da integração tecnológica. A análise de dados permite identificar áreas que necessitam de intervenção, como zonas com deficiência de nutrientes, estresse hídrico ou infestação de pragas.

A interoperabilidade entre diferentes sistemas tecnológicos é um dos maiores desafios na integração de drones na agricultura. Os dados coletados por drones devem ser compatíveis com outros sistemas de gerenciamento agrícola, como sensores de solo, sistemas de irrigação automatizada e plataformas de gestão agrícola. Alves Júnior (2015) menciona que a interoperabilidade é vital para garantir que os dados fluam sem problemas entre diferentes plataformas e que os agricultores possam acessar e utilizar essas informações de maneira integrada. O desenvolvimento de APIs (Interfaces de Programação de Aplicações) e padrões de dados abertos é crucial para facilitar essa interoperabilidade.

A integração de drones com outras tecnologias avançadas, como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA) e big data, pode levar a uma agricultura de precisão ainda mais eficiente. IoT permite a conexão de sensores de solo e clima com drones, proporcionando uma visão holística das condições agrícolas. A IA pode ser utilizada para analisar padrões nos dados coletados e prever problemas futuros, como surtos de pragas ou necessidade de irrigação. Júnior de Oliveira et al. (2020) destacam que a combinação de

drones com IA e IoT pode transformar a gestão agrícola, tornando-a mais proativa e baseada em dados.

Os sistemas de gerenciamento agrícola (Farm Management Information Systems - FMIS) são plataformas integradas que centralizam todos os dados e operações agrícolas. A integração dos drones com esses sistemas permite que os agricultores monitorem e gerenciem suas operações em tempo real, tomando decisões informadas sobre plantio, irrigação, aplicação de insumos e colheita. Scussel (2016) observa que os FMIS facilitam a automação de tarefas agrícolas, melhorando a eficiência e reduzindo os custos operacionais.

Para que a integração tecnológica seja bem-sucedida, é fundamental que os agricultores e operadores de drones recebam treinamento adequado. Isso inclui o uso de drones, interpretação de dados, e a utilização de softwares de análise e sistemas de gerenciamento agrícola. Giraldeli (2019) enfatiza que a capacitação contínua é essencial para que os agricultores possam tirar pleno proveito das tecnologias disponíveis e integrar eficientemente os drones em suas operações diárias.

A colaboração entre desenvolvedores de tecnologia, instituições de pesquisa, e a comunidade agrícola é crucial para a integração bem-sucedida dos drones. Parcerias público-privadas podem fornecer os recursos financeiros e técnicos necessários para desenvolver e implementar soluções tecnológicas avançadas. Alves Júnior (2015) sugere que a colaboração pode acelerar o desenvolvimento de tecnologias integradas e promover a adoção de práticas agrícolas inovadoras.

A integração tecnológica dos drones na agricultura envolve a harmonização de várias tecnologias e sistemas para otimizar a coleta, processamento e aplicação de dados. A interoperabilidade de sistemas, o uso de tecnologias avançadas como IoT e IA, e a implementação de sistemas de gerenciamento agrícola são essenciais para maximizar os benefícios dos drones. Além disso, o treinamento adequado e as parcerias colaborativas desempenham um papel crucial na promoção de uma agricultura mais eficiente e sustentável (SCUSSEL, 2016).

|

5 CONCLUSÃO

O uso de drones na agricultura está transformando a forma como as práticas agrícolas são conduzidas, oferecendo uma gama de benefícios que vão desde o aumento da eficiência operacional até a promoção de práticas mais sustentáveis e precisas. A capacidade dos drones de fornecer dados detalhados e em tempo real sobre as condições das culturas, solo e recursos hídricos está revolucionando a tomada de decisões no campo, permitindo que os agricultores respondam rapidamente a problemas e maximizem a produtividade.

Uma das maiores vantagens dos drones é o seu potencial para melhorar a precisão na aplicação de insumos agrícolas. Ao identificar áreas específicas que necessitam de fertilizantes, pesticidas ou irrigação, os drones permitem uma aplicação direcionada, reduzindo o uso excessivo de insumos e minimizando o impacto ambiental. Isso não apenas resulta em economias de custos significativas, mas também promove a sustentabilidade, ao reduzir a poluição do solo e da água.

Além disso, os drones proporcionam um meio eficiente de monitorar grandes áreas de cultivo, que de outra forma seriam difíceis de gerenciar manualmente. Eles podem ser programados para realizar voos regulares e capturar imagens detalhadas, que são analisadas para detectar sinais de estresse nas plantas, presença de pragas e doenças, e variações na saúde das culturas. Essa vigilância constante e precisa permite aos agricultores implementar intervenções preventivas, garantindo a saúde contínua das plantações e otimizando o rendimento.

O mapeamento de terrenos é outra área em que os drones se destacam. A capacidade de gerar mapas topográficos detalhados e modelos digitais de elevação ajuda os agricultores a planejar melhor o uso da terra, a gestão da água e a implementação de sistemas de irrigação eficientes. Esses mapas também são fundamentais para a gestão de recursos e a conservação do solo, contribuindo para práticas agrícolas mais responsáveis e sustentáveis.

A integração de drones com outras tecnologias avançadas, como a Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA) e big data, está ampliando ainda mais suas aplicações na agricultura. Sensores conectados e sistemas automatizados permitem uma gestão agrícola mais inteligente e baseada em dados, enquanto a IA ajuda a prever problemas futuros e otimizar a alocação de recursos. Essa integração tecnológica está levando a agricultura a um novo patamar de eficiência e inovação.

No entanto, a adoção generalizada de drones na agricultura ainda enfrenta desafios significativos. O custo inicial de aquisição e manutenção de drones pode ser proibitivo para muitos agricultores, especialmente para pequenos e médios produtores. Além disso, a necessidade de treinamento especializado para operar e manter os drones, bem como para interpretar os dados coletados, representa uma barreira adicional. A infraestrutura e a conectividade, essenciais para a operação eficaz dos drones, também podem ser limitadas em áreas rurais.

Regulamentações e políticas adequadas são essenciais para facilitar a adoção de drones na agricultura. As leis devem garantir a segurança operacional, proteger a privacidade e promover a inovação tecnológica. Incentivos governamentais, como subsídios e financiamentos, podem ajudar a mitigar os custos iniciais e tornar a tecnologia mais acessível. Parcerias entre o setor público e privado, bem como colaborações com instituições de pesquisa, são cruciais para desenvolver soluções integradas e promover a adoção de drones.

Os drones têm o potencial de transformar a agricultura, tornando-a mais eficiente, precisa e sustentável. Embora existam desafios a serem superados, as oportunidades oferecidas por essa tecnologia são vastas e promissoras. À medida que a tecnologia continua a evoluir e as barreiras à sua adoção são reduzidas, espera-se que os drones desempenhem um papel cada vez mais central na agricultura, ajudando a alimentar uma população mundial crescente de maneira sustentável e eficiente.

REFERÊNCIAS

ALVES JÚNIOR, L. R. **Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um Veículo Aéreo Não Tripulado em áreas urbanas e rurais no Estado de Goiás.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2015.

FACHIN, G. R. **Monitoramento de doenças e variáveis meteorológicas na agricultura através de sensores.** 2019.

GIRALDELI, Ana Lígia. **Drones na agricultura: como eles te ajudam a lucrar mais.** Aegro, 2019. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/drones-na-agricultura/>. Acesso em 05 mai 2024.

GSI BRASIL, 2018. **Agricultura 4.0: a incorporação de tecnologia, sensoriamento e dados às atividades do campo.** Disponível em: <https://www.gsibrasil.ind.br/noticia/agricultura-4-0--a-incorporacao-de-tecnologia--sensoriamento-e-dados-as-atividades-do-campo>. Acesso em 05 mai 2024.

JÚNIOR DE OLIVEIRA, Altacis; FERREIRA DA SILVA, Gustavo; RODRIGUES DA SILVA, Givanildo; ALVES C. DOS SANTOS, Andressa; SOARES ALVES CALDEIRA, Daniela; KAROLINE C. VILARINHO, Marcella; ANTONIO APARECIDO BARELLI, Marco. Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. **Brazilian Journal of Development**, 2020.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. A. Agricultura Digital. **RECoDAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 2, n. 1, p. 72-88, jan./jun. 2017.

OMEGA AGROSCIENCE, 2016. **Agricultura de Precisão: ferramentas, benefícios e vantagens.** Disponível: <http://www.omegaagro.com.br/2016/06/02/agricultura-de-precisao-ferramentas-beneficios-e-vantagens/>. Acesso em 05 mai 2024.

PRUDKIN, Gonzalo; M. BREUNIG, Fábio. **Drones e ciência: Teoria e aplicações metodológicas.** 1. ed. Santa Maria – SC: Facos UFSM, 2019.

RODRIGUES NOVAES, Guilherme. **Drones podem ser uma alternativa para gestão portuária?** Revista eletrônica de estratégias e negócios, 2018.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**, WEF, 2016.

SCUSSEL, Alexandre. **Drones na Agricultura: prepare-se para atuar neste setor milionário.** 2016. Fórum Drones, São Paulo: MundoGeo. Disponível em: <https://mundogeo.com/2016/04/15/drones-na-agricultura-prepare-se-para-atuar-neste-setor-milionario/>. Acesso em 05 mai 2024.

SIMÕES, M.; SOLER, L; S.; PY, H. **Tecnologias a serviço da sustentabilidade e da agricultura.** Boletim informativo da SBCS. Mai-ago, 2017.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA. **Agricultura 4.0: A revolução impulsionada pelas novas tecnologias.** 2016.