

**UMA ANÁLISE DA AVIAÇÃO AGRÍCOLA NO BRASIL: CONTEXTO E
CARACTERIZAÇÃO**Luíza Bruna Gonçalves Jorge Silva¹Jairo Afonso Henkes²**RESUMO**

A aviação agrícola brasileira tem suas raízes na década de 1940, quando foram realizadas as primeiras experiências de aplicação aérea de defensivos agrícolas. Sua versatilidade permite que a produção agrícola mantenha alta eficiência mesmo em condições climáticas adversas, otimizando o uso de recursos e reduzindo o tempo de resposta diante de pragas e doenças. Foi importante analisar o contexto da aviação agrícola no Brasil, destacando suas características operacionais, regulamentações vigentes e os principais desafios relacionados à sustentabilidade. Este estudo foi desenvolvido por meio de uma pesquisa do tipo descritiva/documental, com abordagem qualitativa e caráter exploratório com análise de publicações em livros, artigos científicos, periódicos especializados, legislações e documentos institucionais. Os resultados destacam que o Brasil possui a segunda maior frota de aeronaves agrícolas do mundo, em 2025, com 2.722 aeronaves agrícolas registradas na Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), um crescimento de 7,21% em relação ao ano anterior. O agronegócio brasileiro é responsável por 25% do PIB nacional e a aviação agrícola ocupa papel estratégico. Nos últimos anos, a aviação agrícola tem passado por uma intensa modernização tecnológica, impulsionada por sistemas embarcados de alta precisão e por novas plataformas de pulverização aérea. Os dados da pesquisa revelam um setor tecnologicamente avançado, responsável por contribuições significativas para a produtividade do agronegócio nacional, mas ainda convive com desafios estruturais em termos de regulamentação, fiscalização e mitigação de impactos. O equilíbrio entre produtividade e sustentabilidade na aviação agrícola requer avanços tecnológicos e uma transformação sistêmica entre os atores da cadeia produtiva.

Palavras-chave: aviação agrícola; pulverização; impactos socioambientais; agronegócio.

¹Acadêmica no Curso Superior de Tecnologia em Transporte Aéreo - AEROTD/SC.
E-mail: heloisabruna2017@gmail.com

² Mestre em Agroecossistemas (UFSC, 2006). Especialista em Administração Rural (UNOESC, 1997). Engenheiro Agrônomo (UDESC, 1986). Professor e Pesquisador nas Áreas de Gestão Ambiental, Ciências Aeronáuticas, Agronomia, Administração e Engenharia Ambiental. AEROTD. <https://orcid.org/00000002-3762-471X>. E-mail: jairohenkes333@gmail.com

AN ANALYSIS OF AGRICULTURAL AVIATION IN BRAZIL: CONTEXT AND CHARACTERIZATION

ABSTRACT

Brazilian agricultural aviation has its roots in the 1940s, when the first experiments in aerial application of pesticides were carried out. Its versatility allows agricultural production to maintain high efficiency even in adverse weather conditions, optimizing the use of resources and reducing response time to pests and diseases. It was important to analyze the context of agricultural aviation in Brazil, highlighting its operational characteristics, current regulations, and the main challenges related to sustainability. This study was developed through descriptive/documentary research, with a qualitative and exploratory approach, analyzing publications in books, scientific articles, specialized journals, legislation, and institutional documents. The results highlight that Brazil will have the second largest fleet of agricultural aircraft in the world in 2025, with 2,722 agricultural aircraft registered with the National Civil Aviation Agency (ANAC), a growth of 7.21% compared to the previous year. Brazilian agribusiness is responsible for 25% of the national GDP, and agricultural aviation plays a strategic role. In recent years, agricultural aviation has undergone intense technological modernization, driven by high-precision embedded systems and new aerial spraying platforms. Research data reveals a technologically advanced sector, responsible for significant contributions to the productivity of the national agribusiness, but still facing structural challenges in terms of regulation, oversight, and impact mitigation. The balance between productivity and sustainability in agricultural aviation requires technological advancements and a systemic transformation among the actors in the production chain.

Keywords: *agricultural aviation; crop spraying; socio-environmental impacts; agribusiness.*

1 INTRODUÇÃO

A aviação agrícola desempenha um papel estratégico no agronegócio brasileiro, sendo fundamental para a produtividade de culturas como soja, milho, algodão e arroz. Com uma das maiores frotas aeroagrícolas do mundo, o Brasil consolidou-se como referência nesse setor, impulsionado pela demanda por eficiência em larga escala (Silveira Filho, 2004). No entanto, essa atividade também gera debates intensos sobre seus impactos socioambientais e a necessidade de regulamentações mais robustas (Mhreb, 2017).

O crescimento do setor é evidente, com eventos como o Congresso da Aviação Agrícola do Brasil destacando avanços tecnológicos e a importância do diálogo entre stakeholders (Agroanalysis, 2021). Paralelamente, surgem desafios relacionados à sustentabilidade, como a gestão de resíduos, a segurança operacional e os riscos de contaminação ambiental (Furtado; Hoff, 2017). Inovações como georreferenciamento, drones e sistemas de pulverização de precisão têm sido discutidas como alternativas para reduzir esses impactos, mas sua adoção ainda enfrenta obstáculos estruturais e regulatórios (Bechepeche; Moura, 2024).

Como objetivo geral este artigo se propõe a analisar o contexto da aviação agrícola no Brasil, destacando suas características operacionais, regulamentações vigentes e os principais desafios relacionados à sustentabilidade e ao impacto socioambiental (Mhereb, 2018).

Entre os objetivos específicos estão:

- Descrever o panorama atual da aviação agrícola no Brasil, identificando seu papel no agronegócio e a evolução tecnológica do setor.
- Descrever as normas regulatórias que orientam as operações da aviação agrícola, considerando os riscos e cuidados exigidos.
- Discutir os principais impactos socioambientais da pulverização aérea, com base em estudos de caso e na literatura científica.

A análise destes tópicos permitiu refletir sobre caminhos para equilibrar a produtividade e sustentabilidade, considerando as demandas do agronegócio e as preocupações ambientais contemporâneas.

2 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DA AVIAÇÃO AGRÍCOLA NO BRASIL

A aviação agrícola brasileira tem suas raízes na década de 1940, quando foram realizadas as primeiras experiências de aplicação aérea de defensivos agrícolas. Este período marcou a transição de uma agricultura tradicional para um modelo mais tecnificado, onde a aviação agrícola se mostrou fundamental para atender às grandes extensões de terra cultivadas (Mhereb, 2018).

O desenvolvimento do setor ocorreu em paralelo ao crescimento do agronegócio brasileiro, especialmente nas regiões Centro-Oeste e Sul do país. Mhereb (2018) ressalta que a adoção desta tecnologia estava diretamente relacionada à necessidade de aumentar a produtividade e controlar pragas em larga escala, fatores cruciais para a competitividade internacional da agricultura brasileira. Na década de 1980, com o avanço da agricultura em áreas do Cerrado, a aviação agrícola consolidou-se como ferramenta estratégica. A soja, como principal commodity agrícola brasileira, absorve sozinha cerca de 40% dessas operações, seguida pelo milho safrinha, com aproximadamente 30%, e pelo algodão, que demanda cerca de 15% dos serviços aeroagrícolas, particularmente no controle de pragas como o bicudo, que pode causar perdas devastadoras nas lavouras algodoeiras. Essa distribuição operacional reflete não apenas a importância econômica dessas culturas, mas também a dependência tecnológica do modelo agrícola brasileiro em relação às aplicações aéreas, especialmente nas vastas propriedades do Centro-Oeste e nas áreas de cultivo intensivo do Sul do país (AgroAnalysis, 2021).

Bechepeche e Moura (2024) destacam que a evolução tecnológica das aeronaves agrícolas acompanhou o desenvolvimento do setor, com melhorias significativas nos sistemas de aplicação, navegação e controle de pulverização. Entretanto, os autores alertam que esta modernização nem sempre foi acompanhada por avanços equivalentes nas práticas de segurança e proteção ambiental.

Furtado e Hoff (2017) complementam esta análise ao abordarem as mudanças na legislação que regulamenta a atividade, mostrando como o marco regulatório foi sendo adaptado para responder aos desafios que surgiam com a expansão do setor. Esta evolução histórica revela um setor dinâmico, que se

desenvolveu em sintonia com as demandas do agronegócio brasileiro, mas que também acumulou desafios relacionados à sustentabilidade e aos impactos socioambientais de suas operações.

A aviação agrícola no Brasil tem passado por um processo de modernização e desburocratização regulatória. A ANAC aprovou a Emenda nº 05, ao Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) nº 137, que passou a se denominar: Cadastro e Requisitos Operacionais: Operações Aeroagrícolas. A medida foi formalizada pela Resolução nº 716, de 13 de junho de 2023, e entrou em vigor em 2 de outubro do mesmo ano, com o objetivo de promover o crescimento seguro e sustentável das operações aeroagrícolas (ANAC, 2023).

Entre as principais mudanças, destaca-se a extinção do processo de certificação dos operadores aeroagrícolas, substituindo o Certificado de Operador Aero (COA) pelo Cadastro de Operador Aeroagrícola (CDAG), que não possui validade fixa. Além disso, eliminou-se a exigência de apresentar a ANAC o cadastro da empresa junto ao Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). O novo regulamento também flexibilizou a obrigatoriedade de estrutura fixa de pessoal administrativo e tornou o preenchimento do diário de bordo mais simples, dispensando sua permanência obrigatória na aeronave durante as operações (ANAC, 2023).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para desenvolver esta pesquisa sobre a aviação agrícola no Brasil, adotou-se uma abordagem metodológica qualitativa, fundamentada na análise crítica de dados secundários provenientes de diversas fontes especializadas. O estudo se estrutura como uma pesquisa bibliográfica e documental, utilizando como base a produção acadêmica recente, documentos oficiais e relatórios setoriais que abordam os aspectos técnicos, regulatórios e socioambientais da atividade aeroagrícola no país.

A metodologia empregada combinou três procedimentos principais: revisão sistemática da literatura especializada, análise de estudos de caso emblemáticos e exame detalhado do marco regulatório brasileiro. A revisão sistemática foi conduzida a partir de critérios rigorosos de seleção, incluindo artigos científicos indexados em bases de dados acadêmicas, publicados entre 2000 e 2024, que abordassem

diretamente a aviação agrícola em seus aspectos tecnológicos, ambientais ou regulatórios. Foram privilegiadas pesquisas com abordagem empírica e revisões críticas da literatura, como os trabalhos de Silveira Filho (2004) e Mhereb (2017), que oferecem análises abrangentes sobre a evolução do setor e seus impactos.

A análise de estudos de caso concentrou-se em episódios significativos que marcaram a história recente da aviação agrícola brasileira, com especial atenção ao caso de Rio Verde-GO, amplamente documentado na literatura acadêmica e em relatórios oficiais. Esses casos foram examinados à luz de diferentes perspectivas - técnica, jurídica e social - permitindo uma compreensão multidimensional dos desafios enfrentados pelo setor. Documentos governamentais, como os relatórios do MAPA e da ANAC, complementaram essa análise, fornecendo dados oficiais sobre as circunstâncias e consequências destes eventos.

O exame da legislação envolveu a análise sistemática das principais normas que regulamentam a aviação agrícola no Brasil, incluindo leis federais, decretos, instruções normativas e resoluções técnicas. Furtado e Hoff (2017) serviram como referência fundamental para compreender a evolução do marco regulatório, enquanto documentos oficiais atualizados, como as normas do SINDAG citadas por AgroANALYSIS (2021), permitiram contextualizar as discussões sobre sustentabilidade e inovação tecnológica no setor.

Os critérios para seleção das fontes privilegiaram: (1) artigos científicos publicados em periódicos revisados por pares; (2) documentos oficiais de órgãos reguladores como ANAC, MAPA e IBAMA; (3) relatórios técnicos produzidos por entidades setoriais como o SINDAG; e (4) estudos de caso documentados em fontes primárias confiáveis. Trabalhos como o de Bechepeche e Moura (2024) foram particularmente valorizados por sua abordagem atualizada sobre as inovações tecnológicas no setor. A triangulação dessas diferentes fontes permitiu construir uma análise robusta e multidimensional do tema, garantindo tanto o rigor acadêmico quanto a relevância prática dos resultados obtidos.

A sistematização dos dados seguiu um processo de categorização temática, organizando as informações em eixos analíticos correspondentes aos objetivos específicos da pesquisa: evolução histórica e tecnológica, marco regulatório, impactos socioambientais e inovações para sustentabilidade. Esta abordagem metodológica permitiu articular as diferentes dimensões do problema de pesquisa,

oferecendo uma visão abrangente sobre os desafios e perspectivas da aviação agrícola no Brasil contemporâneo.

A coleta de dados foi realizada por meio da busca e seleção de obras científicas publicadas nos últimos dez anos, preferencialmente entre 2015 e 2025, com ênfase nos temas relacionados à aviação agrícola, pulverização aérea, impactos ambientais e tecnologias aplicadas ao agronegócio. A pesquisa se concentrou em três eixos: eixo legal, eixo institucional e eixo acadêmico-científico. Estes serviram de rumo para a coleta de informações e dados, para que se estabelecer uma discussão elevada e resultados científicos de qualidade (Vantzing; Henkes, 2024).

As palavras-chave utilizadas na busca da pesquisa foram: aviação agrícola, pulverização aérea e agronegócio brasileiro. As publicações foram selecionadas pela: relevância teórica, atualidade e pertinência com o objeto de estudo. Os critérios de inclusão consideraram artigos revisados por pares, teses, dissertações e documentos oficiais, enquanto os critérios de exclusão abrangeram materiais com dados desatualizados ou sem embasamento técnico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aviação agrícola é um dos pilares tecnológicos do agronegócio brasileiro. Contribui significativamente para o aumento da produtividade e a eficiência na aplicação de insumos.

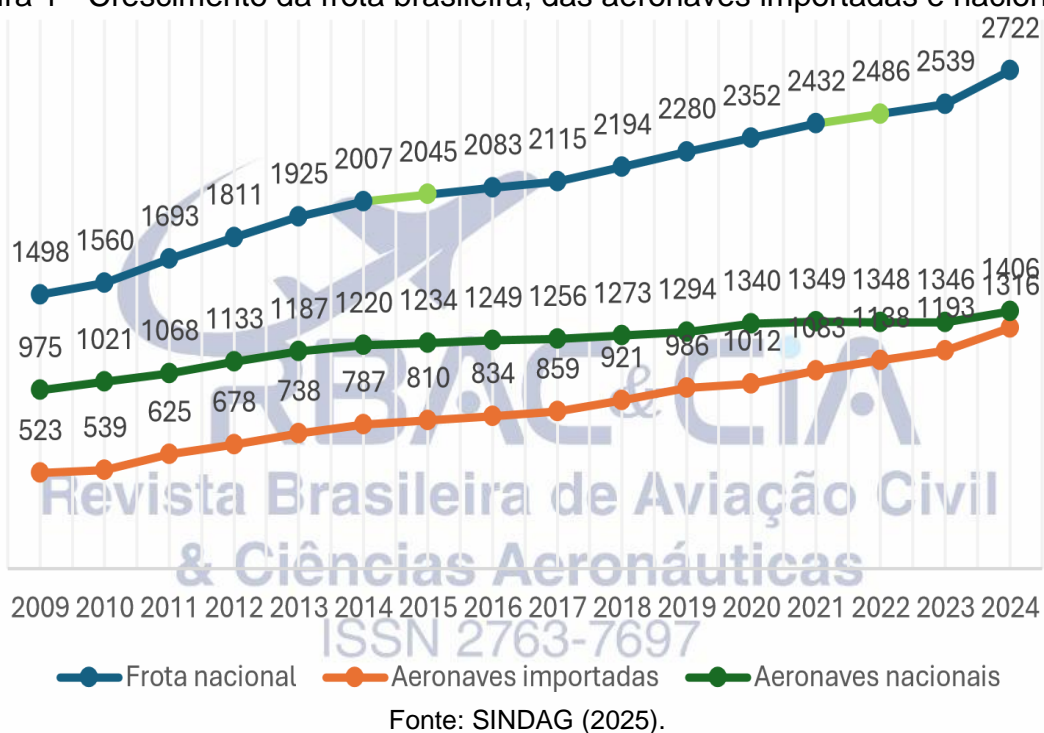
4.1 PANORAMA ATUAL DA AVIAÇÃO AGRÍCOLA NO BRASIL

De acordo com o Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola (SINDAG) (2024), o Brasil possui a segunda maior frota de aeronaves agrícolas do mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Em 2025, o país iniciou o ano com 2.722 aeronaves agrícolas registradas na Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), um crescimento de 7,21% em relação ao ano anterior (Aeroin, 2025). Essa expansão reflete tanto a ampliação das áreas cultivadas quanto o avanço tecnológico e regulatório do setor.

A ANAC, por meio do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) nº 137, estabelece as normas que regulamentam as operações aeroagrícolas no território nacional, garantindo padrões mínimos de segurança, manutenção e qualificação de pilotos (ANAC, 2021). Essa regulamentação, em conjunto com as exigências do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), tem buscado alinhar o setor às boas práticas ambientais e de segurança operacional.

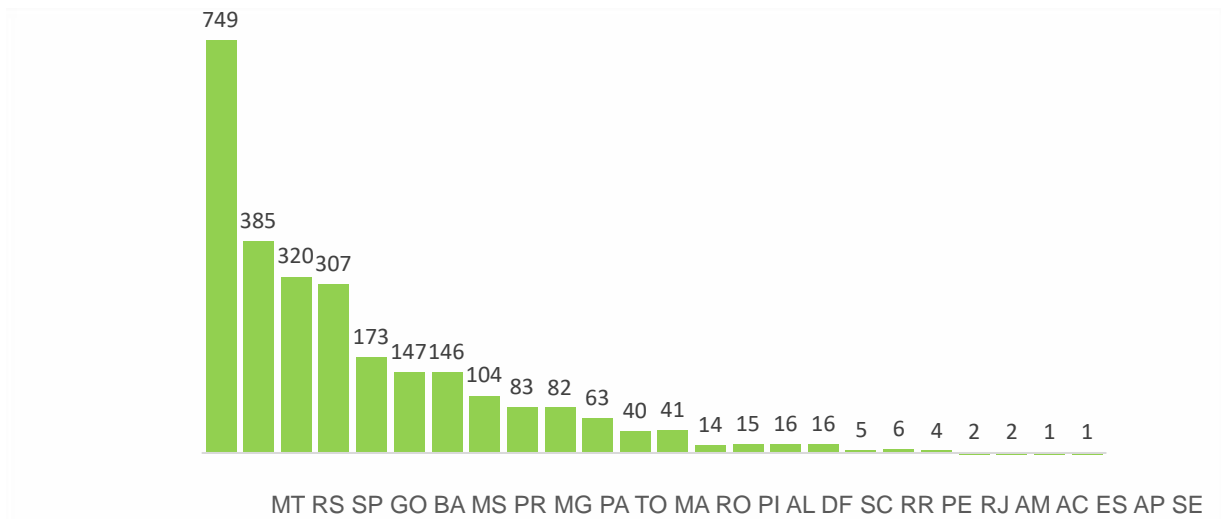
A expansão frota da aviação agrícola pode se observar na Figura 1 a seguir.

Figura 1 - Crescimento da frota brasileira, das aeronaves importadas e nacionais



A aplicação aérea de defensivos, fertilizantes e sementes têm contribuído para reduzir perdas e aumentar a produtividade, sobretudo em regiões com relevo acidentado ou solos suscetíveis à compactação, onde maquinário terrestre apresenta limitações, com uma frota de aeronaves distribuída no território nacional como se pode observar na Figura 2.

Figura 2 - Distribuição de aeronaves tripuladas por Estado da Federação



Fonte: SINDAG (2025).

O agronegócio brasileiro é responsável por cerca de 25% do PIB nacional e a aviação agrícola ocupa papel estratégico nesse contexto, ao permitir que grandes extensões de lavoura recebam insumos de maneira uniforme e ágil (SINDAG, 2024). Além da pulverização, a aviação agrícola vem sendo empregada em operações de semeadura aérea, controle de queimadas e até combate a incêndios florestais. Sua versatilidade permite que a produção agrícola mantenha alta eficiência mesmo em condições climáticas adversas, otimizando o uso de recursos e reduzindo o tempo de resposta diante de pragas e doenças (Revista AVAG, 2024).

Na Tabela 1 a seguir, pode se observar a quantidade e percentual de aeronaves registradas no SINDAG/Brasil, por marca/fabricante. Nos últimos anos, a aviação agrícola tem passado por uma intensa modernização tecnológica, impulsionada por sistemas embarcados de alta precisão e por novas plataformas de pulverização aérea, como: drones e aeronaves remotamente pilotadas. Entre as principais inovações estão os sistemas de navegação por GPS e piloto automático, que permitem rotas de voo mais precisas, evitando sobreposições e falhas na aplicação. Além disso, tecnologias como: taxa variável, telemetria e monitoramento em tempo real passaram a integrar as aeronaves agrícolas modernas (Revista AVAG, 2024).

Tabela 1 - Distribuição de aeronaves tripuladas por marca/fabricante

MARCA	QUANTIDADE	PERCENTUAL
<u>EMBRAER</u>	<u>1406</u>	<u>51,65%</u>
<u>AIR TRACTOR</u> 27,44%	<u>747</u>	
<u>CESSNA AIRCRAFT</u>	<u>272</u>	<u>9,99%</u>
<u>PIPER AIRCRAFT</u>	<u>129</u>	<u>4,74%</u>
<u>THRUSH AIRCRAFT</u>	<u>76</u>	<u>2,79%</u>
<u>ROBINSON HELICOPTER</u>	<u>29</u>	<u>1,07%</u>
<u>AYRES CORPORATION</u>	<u>18</u>	<u>0,66%</u>
<u>LAVIASA</u>	<u>17</u>	<u>0,62%</u>
<u>PZL-MIELEC</u>	<u>11</u>	<u>0,40%</u>
<u>CHINCUL SACAIFI</u>	<u>7</u>	<u>0,26%</u>
<u>PZL-OKECIE</u>	<u>4</u>	<u>0,15%</u>
<u>GIPPSLAND</u>	<u>3</u>	<u>0,11%</u>
<u>BELL HELICOPTER</u>	<u>1</u>	<u>0,04%</u>
<u>BELLANCA AIRCRAFT</u>	<u>1</u>	<u>0,04%</u>
<u>EUROCOPTER FRANCE</u>	<u>1</u>	<u>0,04%</u>

Fonte: SINDAG (2025).

Esses recursos tornam possível ajustar a quantidade de produto aplicado conforme as necessidades específicas de cada área da lavoura, otimizando o uso de insumos e reduzindo o risco de deriva. Outro avanço relevante é o aperfeiçoamento dos bicos de pulverização (*nozzles*) e a introdução de sistemas de atomização controlada, que proporcionam melhor cobertura e controle do tamanho das gotas, minimizando o desperdício e os impactos. Essa tecnologia, aliada à utilização de adjuvantes e sistemas de eletrostática, contribui para a sustentabilidade e segurança das operações aéreas ambientais (ANAC, 2024).

Nos últimos cinco anos, o uso de drones agrícolas ganhou destaque como ferramenta complementar à aviação tradicional. Conforme a Embrapa (2024), drones de pulverização têm se mostrado eficazes em áreas pequenas, de difícil acesso ou próximas a mananciais, onde o uso de aviões é limitado. Ainda que apresentem menor capacidade operacional, os drones possibilitam pulverizações de precisão e coleta de dados em alta resolução, integrando-se ao manejo digital de propriedades agrícolas (Forbes Brasil, 2025).

A literatura científica também tem evidenciado a relevância do uso de sensoriamento remoto e imagens multiespectrais na tomada de decisão sobre aplicação aérea. Segundo a *Scientific Electronic Archives* (2024), essas ferramentas permitem identificar variações de vigor vegetativo e direcionar aplicações localizadas, o que representa um avanço significativo na sustentabilidade e na eficiência operacional da aviação agrícola.

A segurança operacional também é uma preocupação constante. O Relatório Anual de Segurança Operacional – RASO (2024) aponta que a maioria dos incidentes na aviação agrícola decorre de falhas humanas e de manutenção, reforçando a importância da formação continuada e da atualização dos regulamentos, até mesmo porque a frota em atividade tem idade média razoável como se observa na Figura 3 e Tabela 2, a seguir (ANAC, 2024).



Fonte: SINDAG (2025).

Apesar do crescimento e da modernização tecnológica, o setor enfrenta desafios importantes. Um deles é a percepção pública negativa associada ao uso de defensivos agrícolas, o que muitas vezes leva à desinformação sobre o papel técnico da aviação agrícola (SINDAG, 2024). Além disso, há necessidade de maior capacitação de pilotos e operadores, especialmente com a introdução de tecnologias digitais e drones, que exigem novas competências (ANAC, 2024).

Tabela 2 – Número e percentual de aeronaves tripuladas por ano de fabricação

ANO	QUANTIDADE	PERCENTUAL
2010	698	25,8%
2020	587	21,7%
1970	495	18,3%
2000	363	13,4%
1980	278	10,3%
1990	223	8,3%
1960	57	2,1%
1950	2	0,1%

Fonte: SINDAG (2025).

Em relação às perspectivas futuras, o setor caminha para a automação e digitalização das operações, com integração de dados climáticos, sensoriamento remoto e inteligência artificial. Espera-se que o uso de aeronaves não tripuladas continue crescendo, especialmente para monitoramento e aplicações pontuais, enquanto as aeronaves tripuladas permanecem predominantes em grandes áreas de produção (EMBRAPA, 2024).

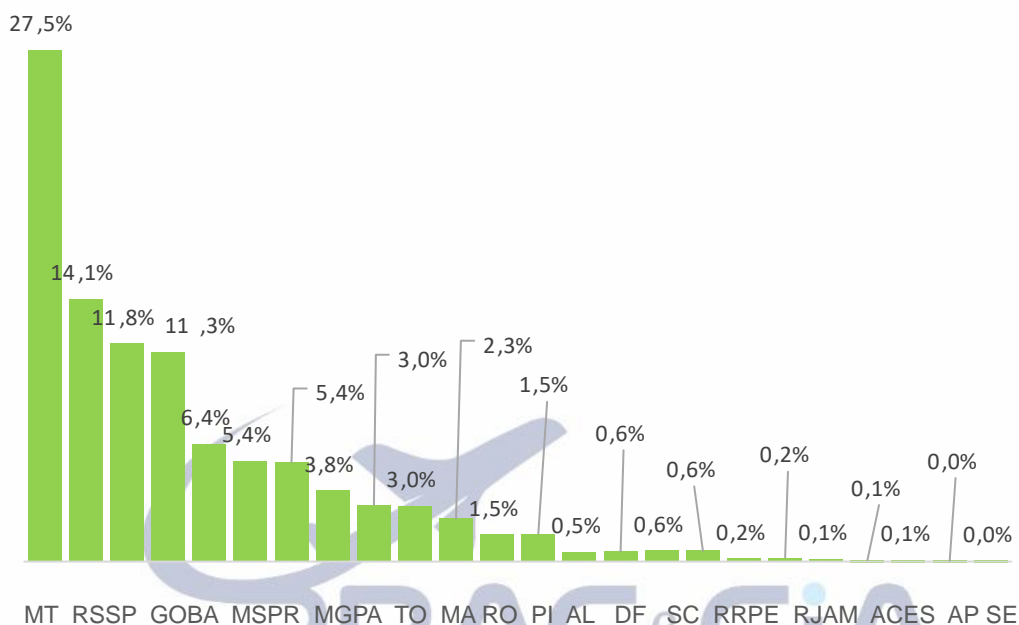
A aviação agrícola no Brasil apresenta-se como um setor consolidado e em constante evolução. Seu papel no agronegócio é indispensável para manter o país entre os maiores produtores de alimentos do mundo. As inovações tecnológicas e a incorporação de drones e sistemas de agricultura de precisão ampliam o potencial de eficiência, segurança e sustentabilidade das operações. Contudo, desafios regulatórios, de capacitação e de imagem pública ainda precisam ser superados para garantir o pleno aproveitamento desse potencial (SINDAG, 2024).

4.2 FROTA AEROAGRÍCOLA E MARCO REGULATÓRIO NO BRASIL

A aviação agrícola brasileira configura-se como um dos pilares do agronegócio nacional, com uma frota que ultrapassa 2.700 aeronaves registradas,

segundo levantamento divulgado pelo SINDAG, posicionando o país como detentor da segunda maior frota aeragrícola do mundo, distribuída de acordo com Figura 4, a seguir.

Figura 4 - Distribuição de aeronaves tripuladas por Estado da Federação (%)



Fonte: SINDAG (2025).

Dentre essas aeronaves, 1054 são operadas diretamente por produtores rurais ou cooperativas (TPP), que utilizam aviões próprios, para o manejo de suas lavouras, outras 1648 aeronaves pertencem a empresas aeroagrícolas (SAE), especializadas na prestação de serviços para o setor, e 31 helicópteros destinados a aplicação de defensivos agrícolas e outras atividades aeroagrícolas. Além disso, algumas poucas aeronaves são utilizadas por instituições de ensino e órgãos governamentais (Agrolink, 2024).

O SINDAG atua como entidade representativa do setor, desenvolvendo normas técnicas complementares e promovendo programas de capacitação para pilotos e técnicos. Entre as principais normas que regulam a atividade, destacam-se a Instrução Normativa MAPA nº 2/2008, que estabelece os requisitos técnicos para aplicação aérea de agrotóxicos, incluindo parâmetros meteorológicos ideais e distâncias mínimas de áreas sensíveis; o Decreto nº 4.074/2002, que regulamenta a Lei dos Agrotóxicos (Lei nº 7.802/1989); e as diversas normas da ANAC que tratam especificamente da manutenção e operação de aeronaves agrícolas, agrupadas

principalmente na RBAC nº137. Outro aspecto relevante é a segurança ambiental, a Lei nº 9.605/1998 e as normas do IBAMA asseguram que as operações de aviação agrícola estejam em conformidade com as exigências ambientais, prevenindo danos ao meio ambiente e a saúde pública (ANAC, 2024).

4.3 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA AVIAÇÃO AGRÍCOLA NO BRASIL

As operações da aviação agrícola no Brasil têm sido marcadas por uma série de impactos socioambientais que suscitam debates acalorados entre produtores, comunidades afetadas, pesquisadores e órgãos reguladores. O caso mais emblemático ocorreu em 2013, no município de Rio Verde (GO), quando uma operação de pulverização aérea atingiu uma escola rural, intoxicando mais de 80 pessoas, entre estudantes e professores, conforme detalhado por Mhereb (2017) em sua análise sobre os conflitos invisibilizados do setor. Este incidente, amplamente divulgado na mídia nacional, expôs de forma dramática os riscos associados à deriva de agrotóxicos, tornando-se um marco nos estudos sobre os efeitos colaterais da aviação agrícola. Pesquisas posteriores ao caso demonstraram que os ventos acima do limite recomendado e a proximidade inadequada da área de aplicação em relação à escola foram os principais fatores que contribuíram para a tragédia, evidenciando falhas tanto no cumprimento das normas quanto no sistema de fiscalização (Mhereb, 2017).

Além dos riscos agudos representados por acidentes como o de Rio Verde, estudos científicos têm apontado para impactos crônicos da pulverização aérea sobre o meio ambiente e a saúde pública. Bechepeche e Moura (2024) destacam em sua revisão técnica que a contaminação de corpos hídricos por agrotóxicos aplicados via aérea é uma preocupação constante, especialmente em regiões com alta concentração de operações aeroagrícolas. Monitoramentos realizados em áreas próximas a lavouras de soja e algodão demonstraram a presença de resíduos de pesticidas em nascentes e riachos, muitas vezes em concentrações acima dos limites permitidos pela legislação ambiental. Essa contaminação afeta não apenas a biodiversidade aquática, mas também comunidades rurais que dependem dessas fontes para abastecimento de água, conforme documentado em pesquisas citadas por Silveira Filho (2004) em seu estudo sobre o cenário da aviação agrícola.

Um aspecto menos visível, mas igualmente preocupante, diz respeito aos efeitos cumulativos da exposição prolongada a baixas doses de agrotóxicos, como discutido por Mhereb (2017). Estudos toxicológicos citados pelo autor sugerem que mesmo concentrações consideradas "seguras" pelos padrões regulatórios podem, ao longo do tempo, causar desequilíbrios ecossistêmicos e problemas de saúde crônicos. Essa situação é agravada pelo chamado "efeito *cocktail*", quando diferentes substâncias químicas interagem no ambiente, potencializando seus efeitos tóxicos de maneiras ainda não completamente compreendidas pela ciência.

Os impactos sobre a saúde humana também têm sido objeto de diversos estudos. Furtado e Hoff (2017) analisaram dados epidemiológicos de regiões com intensa atividade aeroagrícola e encontraram correlações significativas, entre a exposição a agrotóxicos e a incidência de problemas respiratórios, dermatológicos e neurológicos em populações rurais. Particularmente vulneráveis são os trabalhadores rurais que atuam em áreas próximas às aplicações aéreas, muitas vezes sem equipamentos de proteção adequados ou informação sobre os riscos a que estão expostos. A equipe da AgroANALYSIS (2021), embora destaque os avanços tecnológicos do setor, reconhece que os desafios relacionados à proteção da saúde dos trabalhadores e comunidades rurais permanecem como uma questão crítica a ser enfrentada.

4.4 TECNOLOGIAS E PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS NA AVIAÇÃO AGRÍCOLA

No âmbito das práticas sustentáveis, destaca-se o desenvolvimento de formulações de defensivos agrícolas específicos para aplicação aérea, com adjuvantes que reduzem a volatilidade e aumentam a aderência às plantas. Silveira Filho (2004) já apontava a importância dessa linha de pesquisa, que ganhou impulso significativo na última década. Associadas a bicos de pulverização de baixa deriva (*air induction*) e sistemas de controle de fluxo eletrônico, essas formulações permitem reduzir em até 40% o volume de produtos químicos aplicados por hectare, conforme dados compilados por Bechepeche e Moura (2024).

A gestão ambiental das operações aeroagrícolas também tem evoluído, com a implementação obrigatória de pátios de descontaminação conforme normas detalhadas por Furtado e Hoff (2017). Essas estruturas, que devem incluir sistemas

de contenção de resíduos e tratamento de efluentes, representam um avanço significativo na prevenção da contaminação do solo e da água durante as operações de abastecimento e lavagem das aeronaves. Mhereb (2017), embora critique a implementação desigual desses pátios em diferentes regiões do país, reconhece que eles constituem uma melhoria importante no manejo ambiental do setor.

Paralelamente, observa-se o desenvolvimento de programas de capacitação continuada para pilotos e técnicos, com ênfase em práticas de agricultura de precisão e gestão de riscos ambientais. Como ressalta AgroANALYSIS (2021), essas iniciativas, muitas vezes coordenadas pelo SINDAG em parceria com instituições de pesquisa, têm contribuído para elevar os padrões de qualidade e segurança das operações. A incorporação de softwares de planejamento de voo que integram informações sobre áreas sensíveis, condições meteorológicas e características das culturas permite otimizar as aplicações, reduzindo tanto os custos operacionais quanto os impactos ambientais.

4.5 MEDIDAS PARA MITIGAR IMPACTOS NA AVIAÇÃO AGRÍCOLA

Os impactos socioambientais da pulverização aérea, realizada pela aviação agrícola manifestam-se em diferentes escalas e dimensões, conforme evidenciado pelos estudos analisados. O caso de Rio Verde/GO, examinado em profundidade por Mhereb (2017), ilustra os riscos agudos associados à deriva de agrotóxicos, com consequências imediatas para a saúde humana. Além desses eventos dramáticos, pesquisas como persistência de resíduos químicos em solos e corpos hídricos próximos a áreas de intensa atividade aeroagrícola. Esses impactos geram conflitos rurais recorrentes, opondo produtores rurais a comunidades tradicionais e pequenos agricultores, que alegam prejuízos à saúde e à produção agrícola orgânica ou de base familiar.

Diante desses desafios, as alternativas sustentáveis ganham espaço no debate sobre o futuro da aviação agrícola brasileira. Como destacam Bechepeche e Moura (2024), as inovações tecnológicas em sistemas de aplicação de precisão, associadas ao uso de drones para áreas sensíveis, apresentam resultados promissores na redução dos impactos ambientais. A adoção de formulações de defensivos específicos para aplicação aérea, com adjuvantes que reduzem a deriva,

combinada com bicos de pulverização de nova geração, permitiu diminuir em até 40% o volume de produtos químicos utilizado por hectare em propriedades modelo. Esses avanços, contudo, enfrentam obstáculos significativos para sua disseminação em escala nacional, incluindo custos elevados de implementação e resistência cultural por parte de alguns operadores. Além disso, a possibilidade de utilização de motorização elétrica pode tornar mais sustentável a aviação agrícola, como já comentaram Oliveira e Henkes (2021, p. 135-136):

Os motores elétricos certamente ocasionarão economia para as empresas aéreas, tornando o orçamento muito mais estável e menos oscilante como o que acontece na condição atual em que o querosene é pautado pelo preço do barril de petróleo, o qual oscila diariamente. Embora a poluição aeronáutica seja pequena, representando grande eficiência comparando-a outros meios de transporte, a implementação de motores elétricos torna nula a emissão de gases que contribuem com a degradação da qualidade do ar, a poluição e os impactos na saúde humana. Embora a implementação de motores elétricos seja uma questão a longo prazo na aviação comercial e em aeronaves grandes; na aviação de pequeno porte já está ocorrendo resultados impressionantes e satisfatórios.

Os Drones agrícolas emergem como uma das alternativas mais promissoras para complementar as operações tradicionais de aviação agrícola. Conforme análise apresentada por AgroANALYSIS (2021), essas aeronaves não-tripuladas oferecem vantagens significativas em áreas de difícil acesso ou próximas a comunidades e corpos hídricos. Com capacidade para transportar até 100 litros de defensivos e operar em altitudes muito baixas (cerca de 2-3 metros acima da cultura), os drones reduzem drasticamente os riscos de deriva. Furtado e Hoff (2017) ressaltam que essa tecnologia é particularmente adequada para aplicações localizadas em pequenas propriedades ou áreas de preservação permanente, onde as aeronaves convencionais enfrentam maiores restrições operacionais.

A gestão ambiental das operações aeroagrícolas também tem evoluído, com a implementação obrigatória de pátios de descontaminação conforme normas detalhadas por Furtado e Hoff (2017). Essas estruturas, que devem incluir sistemas de contenção de resíduos e tratamento de efluentes, representam um avanço significativo na prevenção da contaminação do solo e da água durante as operações de abastecimento e lavagem das aeronaves. Mhereb (2017), embora critique a implementação desigual desses pátios em diferentes regiões do país, reconhece que eles constituem uma melhoria importante no manejo ambiental do setor.

Paralelamente, observa-se o desenvolvimento de programas de capacitação continuada para pilotos e técnicos, com ênfase em práticas de agricultura de precisão e gestão de riscos ambientais. Como ressalta AgroANALYSIS (2021), essas iniciativas, muitas vezes coordenadas pelo SINDAG em parceria com instituições de pesquisa, têm contribuído para elevar os padrões de qualidade e segurança das operações. A incorporação de softwares de planejamento de voo que integram informações sobre áreas sensíveis, condições meteorológicas e características das culturas permite otimizar as aplicações, reduzindo tanto os custos operacionais quanto os impactos ambientais.

Apesar desses avanços, persistem desafios significativos para a consolidação de um modelo verdadeiramente sustentável de aviação agrícola. Bechepeche e Moura (2024) destacam que a adoção dessas tecnologias ainda é desigual no território nacional, com maior penetração nas regiões de agricultura mais tecnificada. O custo elevado de equipamentos como drones e sistemas de georreferenciamento representam uma barreira importante para pequenas e médias empresas do setor. Além disso, como alerta Mhereb (2017), a eficácia dessas soluções depende fundamentalmente de um marco regulatório atualizado e de mecanismos eficientes de fiscalização, que garantam sua implementação adequada em todo o território nacional.

O caminho para a sustentabilidade na aviação agrícola brasileira parece passar necessariamente pela integração dessas tecnologias inovadoras, com políticas públicas que incentivem sua adoção, programas robustos de monitoramento ambiental e maior participação das comunidades locais no planejamento das operações. Como demonstram os casos de sucesso analisados por AgroANALYSIS (2021), quando adequadamente implementadas, essas soluções podem conciliar a eficiência produtiva exigida pelo agronegócio com a responsabilidade socioambiental demandada pela sociedade contemporânea.

A análise integrada desses aspectos revela um setor em transição, que busca conciliar sua incontestável importância econômica para o agronegócio brasileiro com as crescentes demandas por sustentabilidade e responsabilidade socioambiental. Como aponta AgroANALYSIS (2021), os casos de sucesso demonstram que essa conciliação é possível, mas dependente de um esforço coordenado entre poder público, setor produtivo e comunidades afetadas.

A superação dos desafios atuais exigirá não apenas avanços tecnológicos, mas principalmente o fortalecimento dos mecanismos de governança setorial, com sistemas mais eficientes de monitoramento, capacitação continuada dos operadores e maior transparência nas relações com as comunidades impactadas. O caminho para uma aviação agrícola verdadeiramente sustentável no Brasil passa necessariamente pelo equilíbrio entre esses diferentes elementos, conforme demonstra a análise crítica das experiências recentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida neste trabalho permitiu constatar que a aviação agrícola brasileira se encontra em um momento decisivo de sua trajetória, demandando urgentes ajustes para conciliar sua relevância econômica com as exigências de sustentabilidade. Os achados da pesquisa revelam um setor tecnologicamente avançado, responsável por contribuições significativas para a produtividade do agronegócio nacional, mas que ainda convive com desafios estruturais em termos de regulamentação, fiscalização e mitigação de impactos.

As evidências coletadas apontam para a viabilidade técnica de um modelo mais sustentável de aviação agrícola, como demonstram as experiências bem-sucedidas com georreferenciamento, drones agrícolas e formulações de defensivos de baixo impacto. No entanto, a adoção generalizada dessas soluções enfrenta obstáculos econômicos, culturais e institucionais que demandam ações coordenadas em múltiplas frentes. Neste sentido, o estudo recomenda: (1) o fortalecimento dos mecanismos de fiscalização, com investimentos em capacitação de agentes e modernização dos sistemas de monitoramento; (2) a criação de linhas de financiamento específicas para a modernização tecnológica das empresas aeroagrícolas, particularmente as de menor porte; (3) o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem a pesquisa e adoção de boas práticas operacionais; e (4) a implementação de fóruns permanentes de diálogo entre setor produtivo, órgãos reguladores e comunidades afetadas.

É importante reconhecer as limitações deste estudo, que se restringiu à análise de dados secundários e não incluiu pesquisas de campo para coleta de informações primárias. Além disso, a escassez de estudos longitudinais sobre os

efeitos cumulativos da pulverização aérea dificultou uma avaliação mais precisa dos impactos em médio e longo prazo. Sugere-se que pesquisas futuras incluam: (1) monitoramentos sistemáticos da qualidade do ar, solo e água em áreas de intensa atividade aeroagrícola; (2) estudos epidemiológicos aprofundados sobre os efeitos da exposição crônica a baixas doses de agrotóxicos; e (3) análises econômicas comparativas entre diferentes modelos de aplicação (aéreo x terrestre) considerando custos ambientais e sociais.

O caminho para o equilíbrio entre produtividade e sustentabilidade na aviação agrícola brasileira exige, conforme demonstrado, muito mais do que avanços tecnológicos isolados. Requer uma transformação sistêmica que envolva todos os atores da cadeia produtiva, desde formuladores de políticas públicas até operadores de campo, passando pela comunidade científica e pelas populações afetadas. As soluções existem, como evidenciado pelas experiências analisadas, mas sua implementação em escala demandará vontade política, investimentos estratégicos e, sobretudo, uma visão de longo prazo que reconheça a inseparabilidade entre a saúde do agronegócio e a saúde ambiental e social do país. Este estudo espera contribuir para esse debate crucial, oferecendo subsídios técnicos para a construção de uma aviação agrícola mais eficiente, segura e sustentável no Brasil.

Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas

ISSN 2763-7697

AEROIN. **Brasil começou 2025 com 2.722 aeronaves agrícolas em operação; cresce 7,21% sobre o ano anterior.** Aeroin, 22 fev. 2025. Disponível em: <<https://aeroin.net/brasil-comecou-2025-com-2-722-aeronaves-agricolas-em-operacao-crescendo-721-sobre-o-ano-anterior/>>. Acesso em: 22 out. 2025.

AGROANALYSIS (FGV). **Congresso da Aviação Agrícola do Brasil supera expectativas** — edição Web 2021. AgroAnalysis / FGV, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.fgv.br/agroanalysis/article/view/87840>>. Acesso em: 22 out. 2025.

ANAC — Agência Nacional de Aviação Civil. **RBAC nº 137 — Serviço Aeroagrícola.** Portal Gov.br – ANAC, 14 maio 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/ptbr/assuntos/regulados/empresas-aereas/especificacoes-operativas/rbac-137-servicoaeroagricola>>. Acesso em: 22 out. 2025.

ANAC — Agência Nacional de Aviação Civil. **Novo marco regulatório amplia oportunidades para a aviação agrícola crescer no país.** Notícias ANAC, 16 jul.

2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2023/novo-marcoregulatorio-amplia-oportunidades-para-a-aviacao-agricola-crescer-no-pais>>. Acesso em: 22 out. 2025.

ANAC — Agência Nacional de Aviação Civil. **Relatório Anual de Segurança Operacional — RASO 2024**. Brasília, 30 dez. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/informacoes-deseguranca-operacional/copy3_of_RASO_2024_vFinal.pdf>. Acesso em: 22 out. 2025.

ANAC — **Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB)**. Portal RAB / Dados Abertos — Frota Brasileira. Gov.br — ANAC. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/ptbr/sistemas/rab>>. Acesso em: 22 out. 2025.

BECHEPECHE, A. P.; MOURA, J. A. V. B. Aviação agrícola no Brasil: inovações tecnológicas e desafios para sustentabilidade e eficiência na produção. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, v. 4, n. 4, p. 74–100, 2024. Disponível em: <<https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/278>>. Acesso em: 22 out. 2025.

BRASIL. Decreto-Lei nº 917, de 7 de outubro de 1969. **Dispõe sobre a utilização de aeronaves na agricultura**. Diário Oficial da União, Brasília, 8 out. 1969.

BRASIL. Decreto nº 86.765, de 22 de dezembro de 1981. **Regulamenta o Decreto-Lei nº 917/1969, que dispõe sobre a aviação agrícola**. Diário Oficial da União, Brasília, 23 dez. 1981.

BRASIL. Instrução Normativa MAPA nº 2, de 3 de janeiro de 2008. **Dispõe sobre os requisitos para a operação de aviação agrícola no Brasil**. Diário Oficial da União, Brasília, 4 jan. 2008.

EMBRAPA. **Drone para agricultura é destaque no lançamento do Plano Safra 2024– 2025**. Embrapa — notícias, 3 jul. 2024. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/90679825/drone-paraagricultura-e-destaque-no-lancamento-do-plano-safra-2024-2025>>. Acesso em: 22 out. 2025.

EMBRAPA — Infoteca-e. **Uso de drones agrícolas no Brasil: da pesquisa à prática**. Documento técnico, 2024. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1175882/1/Doc474.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2025.

FORBES BRASIL. **Drones agrícolas avançam, mas exigem regulamentação mais clara**. Forbes Brasil (ForbesAgro), 22 jul. 2025. Disponível em: <<https://forbes.com.br/forbesagro/2025/07/drones-agricolas-avancam-mas-exigemregulamentacao-mais-clara/>>. Acesso em: 22 out. 2025.

FURTADO, R. D.; HOFF, R. B. Pátio de descontaminação de aeronaves agrícolas: evolução técnica e legal. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 74–85, 2017. Disponível em: <<https://rpa.sede.embrapa.br/RPA/article/view/1273>>. Acesso em: 22 out. 2025.

IBAMA — Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Operações de fiscalização e instruções normativas relacionadas a agrotóxicos e pátios de descontaminação**. Brasília, 2023. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br>>. Acesso em: 23 out. 2025.

MHEREB, G. A.; NORDER, L. A. C. Aviação Agrícola no Brasil: contexto e caracterização. Confins: **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n. 36, 28 jul. 2018. Disponível em <<http://journals.openedition.org/confins/13638>>. Acesso em: 22 out. 2025.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Aviação agrícola – legislação e regulamentação**. Brasília, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/aviacaoagricola>>. Acesso em: 23 out. 2025.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Portaria SDA nº 1187, de 10 de outubro de 2024. **Dispõe sobre o registro e credenciamento de operadores aeroagrícolas**. Diário Oficial da União, Brasília, 2024. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sda-n-1187-de-10-de-outubro-de2024>>. Acesso em: 23 out. 2025.

OLIVEIRA, R. S.; HENKES, J. A. (2023). Uma análise sobre a possibilidade de uso dos motores elétricos em aeronaves comerciais. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, 1(2), 112–141. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/27>. Acesso em: 26 out. 2025.

REVISTA AVAG / IBRAVAG. Retrospectiva 2024: Impactos e conquistas da aviação agrícola. **Revista AVAG**, 8 jan. 2025. Disponível em: <<https://revistaavag.org.br/retrospectiva-2024-impactos-e-conquistas-da-aviacaoagricola/>>. Acesso em: 22 out. 2025.

SCIENTIFIC ELECTRONIC ARCHIVES. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas / artigos relacionados à pulverização aérea e sensoriamento remoto. **Scientific Electronic Archives**, 2024. Disponível em: <<https://scientificelectronicarchives.org/index.php/SEA/article/view/2017/2033>>. Acesso em: 22 out. 2025.

SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DE AVIAÇÃO AGRÍCOLA (SINDAG). **Regulamentação e fiscalização: segurança e sustentabilidade ambiental**. Brasília, 2024. Disponível em: <<https://sindag.org.br/regulamentacao-e-fiscalizacao/>>. Acesso em: 23 out. 2025.

SILVEIRA FILHO, V. R. **Cenário atual da aviação agrícola no Brasil**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2004. Disponível em:

<<https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/2240/1/Dissertacao%20Fabiano%20Schmidt.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2025.

VANTZING, W. de P.; HENKES, J. A. (2024). Uma análise da reforma tributária em tramitação no congresso nacional e as possíveis consequências na aviação civil. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, 4(4), 236–259. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/284>. Acesso em: 10 out. 2025.

