



UTILIZAÇÃO DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS NA SILVICULTURA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E CIENTOMÉTRICA (2012-2024)

Use of remotely piloted aircraft in forestry: a bibliometric and scientometric analysis (2012-2024)

Uso de aeronaves pilotadas a distancia en silvicultura: un análisis bibliométrico y cientométrico (2012-2024)

João Victor Oliveira Ribeiro ¹, Luis Felipe Oliveira Ribeiro ^{2*}, Thais Santana do Nascimento ³, & Edney Leandro da Vitória ⁴

^{1,2,4} Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas (DCAB), Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical (PPGAT) ^{1,2,3} Emflora Serviços e Empresas Florestais, Setor de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Operacional

¹ joao.o.ribeiro@edu.ufes.br ^{2*} luis.f.ribeiro@edu.ufes.br ³ thais.santana@emflora.com.br ⁴ edney.vitoria@ufes.br

ARTIGO INFO.

Recebido: 31.03.2026

Aprovado: 23.05.2026

Disponibilizado: 12.09.2026

PALAVRAS-CHAVE: Veículo aéreo não tripulado; Drone; Florestas; Eucalipto; Pinus; Revisão.

KEYWORDS: Unmanned aerial vehicle; Drone; Forests; Eucalyptus; Pine; Review.

PALABRAS CLAVE: VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO; DRONE; BOSQUES; EUCALIPTO; PINO; RESEÑA.

*Autor Correspondente: Ribeiro, L. F. O.

RESUMO

Este estudo realizou uma análise bibliométrica e cientométrica abrangente da produção científica internacional sobre as aplicações de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) em sistemas silviculturais, no período de 2012 a 2024. A investigação foi conduzida na base de dados Scopus, utilizando ferramentas de análise bibliométrica e cientométrica por meio do pacote *Bibliometrix* em ambiente R, a partir de um conjunto de 1.129 artigos científicos selecionados após a aplicação de critérios de filtragem. Os resultados evidenciam um crescimento exponencial das publicações, com taxa média anual de crescimento de 42,3%, especialmente acentuada a partir de 2016. A análise das redes de colaboração científica identificou a China como o principal país produtor, estabelecendo um eixo estratégico com os Estados Unidos. O mapeamento temático revelou a consolidação de domínios centrais, como *Processamento de Imagens* e *Deteção de Objetos*, amplamente associados ao monitoramento florestal, inventário e avaliação de condições fitossanitárias. Em contrapartida, tecnologias emergentes, como o uso de UAV-LiDAR, ainda se encontram em fase de desenvolvimento e apresentam menor maturidade científica. Identificou-se, ainda, uma lacuna crítica, indicando a necessidade de pesquisas futuras que ampliem a transferência do conhecimento científico relacionada ao uso de ARPs agrícolas para o manejo florestal.

ABSTRACT

This study conducted a comprehensive bibliometric and scientometric analysis of the international scientific output on the applications of Remotely Piloted Aircraft (RPAs) in silvicultural systems from 2012 to 2024. The investigation was carried out using the Scopus database, employing bibliometric and scientometric analysis tools through the

Bibliometrix package in the R environment, based on a dataset of 1,129 scientific articles selected after the application of filtering criteria. The results reveal an exponential growth in publications, with an average annual growth rate of 42.3%, particularly pronounced from 2016 onward. The analysis of scientific collaboration networks identified China as the leading producing country, establishing a strategic axis with the United States. The thematic mapping revealed the consolidation of core domains, such as Image Processing and Object Detection, which are widely associated with forest monitoring, inventory, and the assessment of phytosanitary conditions. In contrast, emerging technologies, such as UAV-LiDAR, are still in a developmental stage and exhibit lower scientific maturity. A critical gap was also identified, indicating the need for future research aimed at enhancing the transfer of scientific knowledge related to the use of agricultural RPAs to forest management.

RESUMEN

Este estudio realizó un análisis bibliométrico y cientométrico integral de la producción científica internacional sobre las aplicaciones de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) en sistemas silviculturales, en el período de 2012 a 2024. La investigación se llevó a cabo en la base de datos Scopus, utilizando herramientas de análisis bibliométrico y cientométrico mediante el paquete *Bibliometrix* en el entorno R, a partir de un conjunto de 1.129 artículos científicos seleccionados tras la aplicación de criterios de filtrado. Los resultados evidencian un crecimiento exponencial de las publicaciones, con una tasa media anual de crecimiento del 42,3%, especialmente acentuada a partir de 2016. El análisis de las redes de colaboración científica identificó a China como el principal país productor, estableciendo un eje estratégico con Estados Unidos. El mapeo temático reveló la consolidación de dominios centrales, como *Procesamiento de Imágenes* y *Detección de Objetos*, ampliamente asociados al monitoreo forestal, inventario y evaluación de condiciones fitosanitarias. En contraste, tecnologías emergentes, como el uso de UAV-LiDAR, aún se encuentran en fase de desarrollo y presentan menor madurez científica. Asimismo, se identificó una brecha crítica, lo que indica la necesidad de futuras investigaciones que amplíen la transferencia del conocimiento científico relacionada con el uso de ARP agrícolas hacia el manejo forestal.

INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta elevado potencial silvicultural, sustentado por um modelo produtivo baseado no ciclo contínuo de plantio, colheita e replantio de florestas destinadas ao uso industrial. Além de sua expressiva relevância econômica, esse sistema produtivo também proporciona benefícios ambientais, como a fixação de carbono atmosférico e a conservação dos biomas naturais (Silva et al., 2025). De acordo com dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2025), em 2024 o país contabilizou 10,52 milhões de hectares de florestas plantadas. Desse total, aproximadamente 8,1 milhões de hectares eram ocupados por eucalipto e 1,9 milhão por pinus.

Do ponto de vista econômico, o setor florestal brasileiro apresentou expressivo desempenho, com exportações que totalizaram US\$ 15,7 bilhões em produtos florestais, incluindo celulose, painéis, diferentes tipos de papel e outros derivados de base florestal (IBÁ, 2025). Nesse contexto, a incorporação de tecnologias inovadoras torna-se fundamental para a maximização do desempenho produtivo do setor, considerando que o crescimento, o desenvolvimento, a produtividade e a qualidade de espécies de rápido crescimento, como o eucalipto, são fortemente influenciados pela interação entre fatores ambientais, genéticos e práticas de manejo ao longo do ciclo de cultivo (Ribeiro et al., 2025).

O uso das Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) se torna um potencial de utilização no manejo silvicultural (Figura 1). De modo geral, as ARPs podem ser agrupadas em duas categorias principais: ARPs destinadas a levantamentos aéreos, voltadas à aquisição de dados por meio de sensores ópticos, multiespectrais e térmicos para fins de mapeamento e fotogrametria (Liu et al., 2023; Marques et al., 2024; Prabhu et al., 2024); e ARPs de uso agrícola, projetadas tanto para aplicações na forma de pulverização por via líquida de defensivos agrícolas (Vitória et al., 2023; Vitória et al., 2025) e/ou fertilizantes foliares (Crause et al., 2023) quanto para a dispersão de insumos sólidos, incluindo fertilizantes minerais granulados (Han et al., 2024) e sementes (Huang et al., 2020).

Figura 1. Uso de ARPs na silvicultura



Fonte: Autores (2025).

A bibliometria é um campo da ciência da informação que emprega métodos quantitativos e estatísticos para analisar a produção científica, permitindo identificar tendências de pesquisa, acompanhar avanços tecnológicos e avaliar o desempenho de pesquisadores e instituições em diferentes contextos científicos (Zhang et al., 2017; Ribeiro et al., 2024).

Entre seus principais indicadores estão o volume de publicações, os padrões de citação, as métricas de impacto, a distribuição temporal da produção e frequência de palavras-chave (*tags*) (Silva et al., 2011). A cientometria, por sua vez, expõe um escopo mais amplo ao investigar quantitativamente a ciência e seus processos de comunicação, abrangendo a mensuração do impacto das pesquisas e a análise da influência de periódicos, instituições e estruturas de citação em campos específicos do conhecimento (Martinez et al., 2019). A combinação dessas abordagens possibilita a construção de representações gráficas e redes de relacionamento, como cocitação e coautoria, contribuindo para a compreender a dinâmica e organização da produção científica (Rodrigues & Godoy, 2016; Moraes et al., 2023).

Apesar dos avanços na utilização das ARPs, a maioria dos estudos concentra-se na aplicação de defensivos agrícolas para controle de pragas, doenças e ervas daninhas em culturas anuais (Shan et al., 2022; Wang et al., 2022) e perenes (Ribeiro et al., 2023), temas frequentemente explorados em análises bibliométricas e cientométricas (Santos et al., 2024).

Nesse sentido, este trabalho é motivado pela necessidade de preencher lacunas e fornecer subsídios por meio de levantamento bibliográfico para maior estruturação da área, buscando responder à seguinte questão: a utilização de ARPs apresentou avanços significativos ao longo dos últimos 14 anos na silvicultura? As principais lacunas que justificam este estudo são: (i) a carência de estudos no que se refere à utilização de ARPs interligadas ao controle de pragas e doenças florestais; (ii) a escassez de publicações sobre a utilização de novas tecnologias na silvicultura; e (iii) a dificuldade em identificar pesquisadores de destaque no avanço dessas pesquisas. Assim, o objetivo deste estudo foi realizar um levantamento bibliográfico, no período de 2012 a 2025, sobre a utilização de ARPs na silvicultura, identificando suas principais tendências, avanços e direcionamentos de pesquisa ao longo desse intervalo.

METODOLOGIA

Para coleta de dados, foram pesquisados todos os tipos de documentos, entretanto, foram considerados apenas artigos científicos. A base de dados (BD) científica Scopus foi consultada para a pesquisa bibliométrica por ser a principal fonte para a avaliação da produção científica do mundo e por ter uma rede de cobertura multidisciplinar e internacional. A escolha justifica-se pela maior abrangência da Scopus em relação a outras bases de dados, por exemplo, a Web of Science - WoS (Elsevier, 2024). A Scopus também oferece um sistema objetivo para identificadores exclusivos de autor, indicadores e arranjo das informações pesquisadas, funcionalidades não oferecidas pela WoS (Vieira & Gomes, 2009; Kotsemir & Shashnov, 2017).

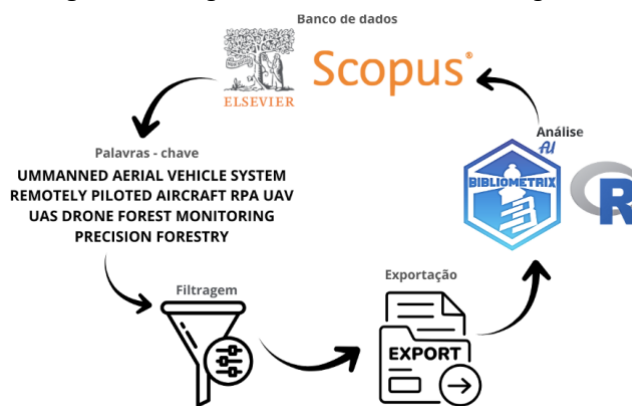
O dicionário de sinônimos *thesaurus* foi consultado para verificar os sinônimos utilizados para se referir aos principais termos da pesquisa: ARPs e silvicultura. Nesse sentido, foram realizadas buscas nos títulos, resumos e *tags* dos artigos, utilizando combinações de termos como “Unmanned Aerial Vehicle (UAV)”, “Remotely Piloted Aircraft (RPA)”, “Unmanned Aircraft System (UAS)” e “drone” com expressões da área, como “forest monitoring” e “precision forestry”. Assim, realizou-se um levantamento preliminar de todos os documentos, sem restrição inicial de período.

A busca resultou em 2.791 registros identificados a partir dos parâmetros definidos. Após uma análise exploratória na base Scopus, aplicaram-se filtros para refinar a precisão temática e concentrar o estudo no intervalo com maior volume de publicações, delimitado entre 2012 e 2024. Nessa etapa, foram selecionados apenas artigos vinculados às áreas temáticas de Ciências Agrárias e Biológicas, Engenharia e Ciência Ambiental.

Os operadores booleanos *OR* e *AND* foram utilizados para direcionar e restringir a pesquisa na base de dados ao tema de interesse. A partir disso, foram realizadas buscas de termos nos títulos dos artigos, resumos e *tags*. O código de pesquisa foi inserido da seguinte forma: (TITLE-ABS-KEY (unmanned AND aerial AND vehicle) OR TITLE-ABS-KEY (aircraft AND system) OR TITLE-ABS-KEY (remotely AND piloted AND aircraft) OR TITLE-ABS-KEY (rpa) OR TITLE-ABS-KEY (uav) OR TITLE-ABS-KEY (uas) OR TITLE-ABS-KEY (drone) AND TITLE-ABS-KEY (forest AND monitoring) OR TITLE-ABS-KEY (precision AND forestry)).

A análise bibliométrica seguiu uma sequência metodológica estruturada, composta pelas etapas de recuperação dos dados, extração das redes de informação, normalização e posterior visualização e interpretação dos mapas temáticos e de conexões. Após a aplicação dos filtros definidos, foram obtidos 1.129 documentos, cujos metadados foram exportados da base Scopus e processados no *software* Bibliometrix (ambiente R). No caso, o Bibliometrix (R Core Team, 2025) oferece um conjunto amplo de ferramentas quantitativas para tratamento de metadados, permitindo a geração de indicadores de desempenho, análises de produtividade e identificação de temas emergentes (Aria & Cuccurullo, 2017; Ulas et al., 2025). O *software* é especializado na construção e visualização de mapas bibliométricos, possibilitando representar redes de coautoria, cocitação e coocorrência de *tags* por meio de gráficos interativos (Figura 2).

Figura 2. Fluxograma do levantamento bibliográfico

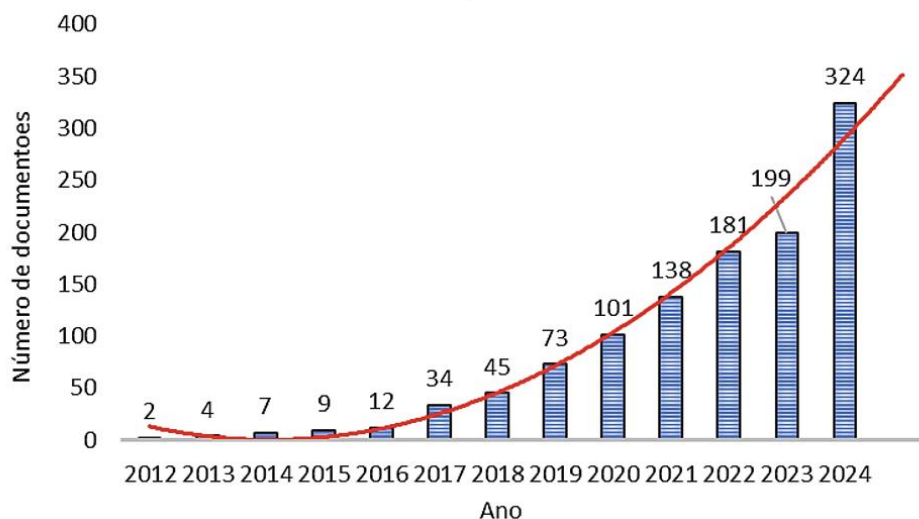


Fonte: Autores (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Publicações ao Longo dos Anos

A evolução temporal das publicações demonstra um crescimento acelerado do interesse científico pelo uso de ARPs na silvicultura, especialmente após 2012 (Figura 3). Nos primeiros anos, observa-se baixa produtividade, com estudos ainda dispersos e voltados a aplicações gerais de ARP, como monitoramento de incêndios (Merino et al., 2012) e avaliação da fragilidade ecológica urbana (Liu et al., 2012). Embora não diretamente relacionadas à silvicultura, as investigações cooperaram para consolidar o potencial dos drones como ferramenta de monitoramento ambiental e de usos mais específicos no setor florestal.

Figura 3. Produção de artigos ao longo dos anos

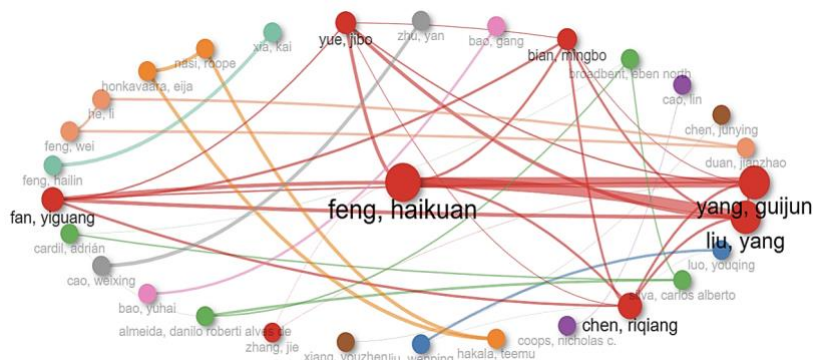
Fonte: Autores (2025) via Scopus.

A evolução temporal das publicações demonstra um crescimento acelerado do interesse científico pelo uso de ARPs na silvicultura, especialmente após 2012 (Figura 3). Nos primeiros anos, observa-se baixa produtividade, com estudos ainda dispersos e voltados a aplicações gerais de ARP, como monitoramento de incêndios (Merino et al., 2012) e avaliação da fragilidade ecológica urbana (Liu et al., 2012). Embora não diretamente relacionadas à silvicultura, as investigações cooperaram para consolidar o potencial dos drones como ferramenta de monitoramento ambiental e de usos mais específicos no setor florestal.

A partir de 2016, verifica-se um aumento consistente no número de publicações, acompanhado da consolidação de pesquisas aplicadas ao manejo e à avaliação de florestas comerciais e nativas. Assim, destacam-se investigações que demonstram a versatilidade das ARPs em diferentes etapas do ciclo florestal, como o monitoramento de longo prazo de áreas plantadas (Zhang et al., 2016), a estimativa pós-colheita do tamanho e número de tocos de *Pinus taeda* (Samiappan et al., 2017), e o desenvolvimento de tecnologias avançadas de mapeamento e análise espacial (Zhu et al., 2020).

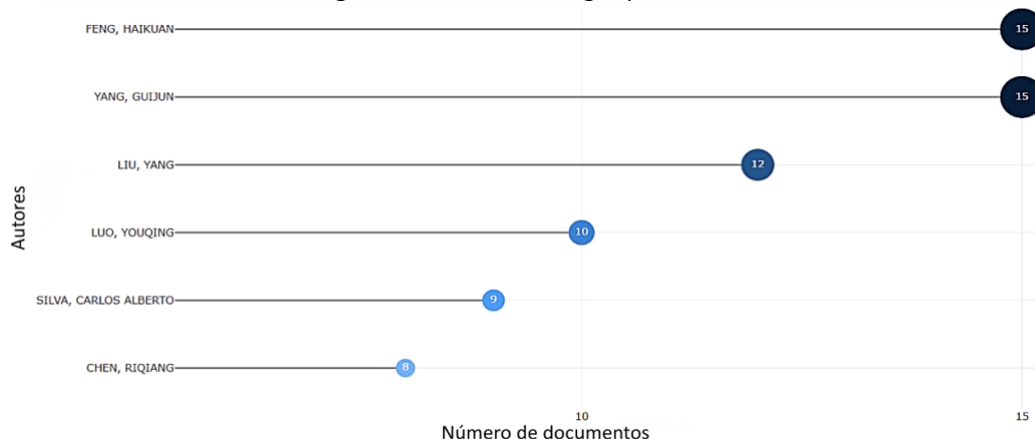
Contribuição Científica Entre Autores

Mais recentemente, estudos multitemporais sobre características fisiológicas, como a detecção de compostos fenólicos em copas de pinheiros-bravos (Song et al., 2024), ratificam a expansão do uso de sensores embarcados e o avanço de abordagens de alta precisão. O aumento reflete tanto o amadurecimento das aplicações de ARP quanto o avanço tecnológico, a redução de custos e a demanda por práticas de manejo mais eficientes e sustentáveis. Assim, a Figura 4 apresenta o mapa da rede de colaboração científica, no qual cada cor representa um autor e as linhas indicam as conexões estabelecidas entre eles, sendo que a maior densidade de ligações reflete um número mais elevado de interações acadêmicas (Ulas et al., 2025). A análise dessa rede evidencia a presença de autores centrais cujas contribuições são fundamentais para o avanço do campo de estudo relacionado à aplicação de ARPs na silvicultura.

Figura 4. Rede de contribuição entre os autores (2012-2024)

Fonte: Autores (2025) via Bibliometrix.

A centralidade desses autores caracteriza-os como um papel de referência científica, uma vez que suas produções têm servido como base metodológica e conceitual para outros estudos, contribuindo para a padronização e o aprimoramento de parâmetros técnicos e trabalhos aplicados ao sensoriamento remoto e ao manejo florestal com o uso de ARPs. Além disso, a produção científica desses pesquisadores (Figura 5) revela a formação de uma ampla rede de conexões, incluindo colaborações em âmbito internacional, o que reforça sua relevância e influência no direcionamento das pesquisas e na consolidação do campo investigado.

Figura 5. Número de artigos por autor

Fonte: Autores (2025) via Bibliometrix.

A análise dos artigos mais citados, período de 2012 a 2024, evidenciou estudos de maior impacto científico conexos ao uso de aeronaves não tripuladas e técnicas de sensoriamento remoto no setor florestal (Yuan et al., 2015) (Tabela 1).

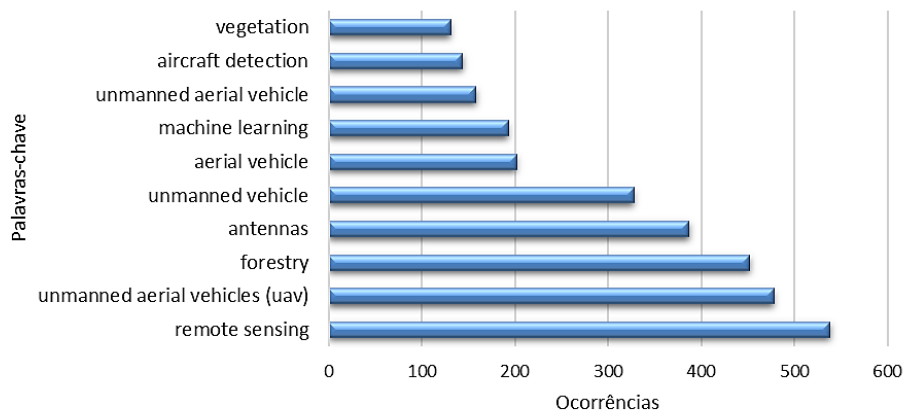
Tabela 1. Ranking dos 6 artigos mais citados durante os anos de 2012 a 2024

Título do trabalho	Autores	DOI	Citações
A survey on technologies for automatic forest fire monitoring, detection, and fighting using unmanned aerial vehicles and remote sensing techniques	Yuan et al. 2015	10.1139/cjfr-2014-0347	557
High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision	Dandois et al., 2013	10.1016/j.rse.2013.04.005	470
UAV Lidar and hyperspectral fusion for forest monitoring in the southwestern USA	Sankey et al. 2017	10.1016/j.rse.2017.04.007	379
An Unmanned Aircraft System for Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement	Merino et al. 2012	10.1007/s10846-011-9560-x	356
Individual Tree Detection from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Derived Canopy Height Model in an Open Canopy Mixed Conifer Forest	Mohan et al. 2017	10.3390/f8090340	331
Assessing very high-resolution UAV imagery for monitoring forest health during a simulated disease outbreak	Dash et al. 2017	10.1016/j.isprsjprs.2017.07.007	299

Fonte: Autores (2025) via Bibliometrix.

remoto, topografia e pulverização; (c) *Forestry*, indicando o uso das aeronaves em manejo florestal, como análise morfológica e combate a incêndios; e (d) *Antennas*, relacionado à otimização da conexão entre drones e estações tecnológicas, com aplicações em redes 5G e Internet das Coisas (IoT), como destacado por Santos et al. (2024) (Figura 7).

Figura 7. Quantidade de ocorrência de palavras-chave



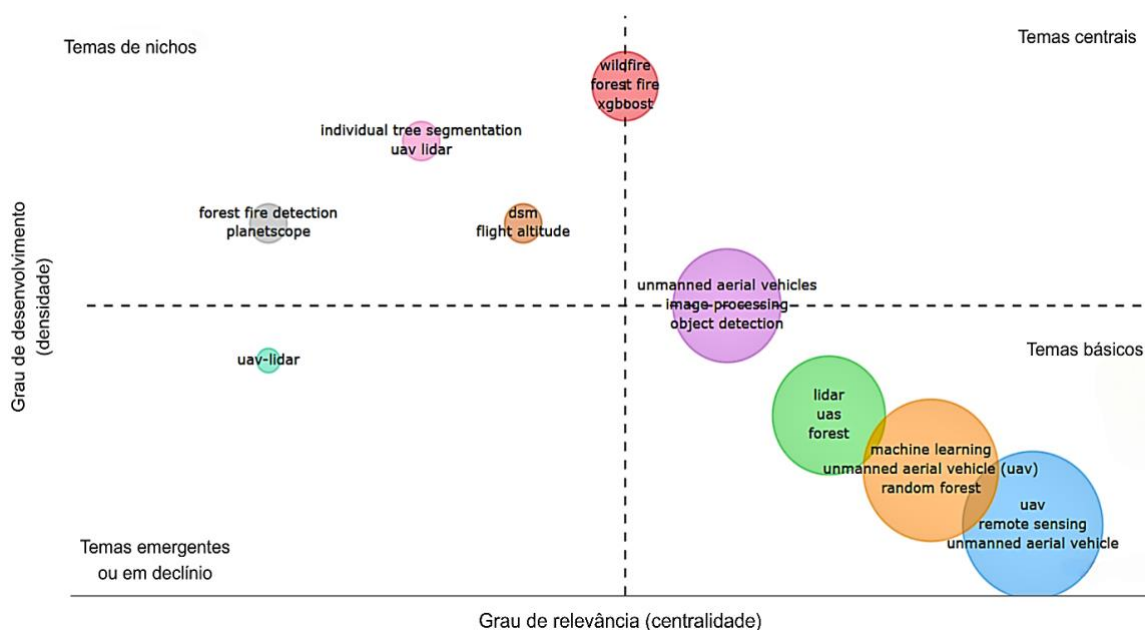
Fonte: Autores (2025) via bibliometrix.

No entanto, observa-se uma lacuna significativa: a ausência de termos diretamente ligados à silvicultura, como “silvicultura de precisão” ou “controle fitossanitário em florestas”. Embora palavras genéricas como “forest”, “remote sensing” e “drone” sejam comuns, há escassez de estudos focados especificamente na aplicação de produtos por via líquida em ARPs na silvicultura, representando oportunidade para futuras pesquisas (Ribeiro et al., 2025).

Análise Estrutural dos Temas

Visando melhorar a apresentação dos achados, a análise foi estruturada em quatro quadrantes, com temas distintos: (a) nicho; (b) centrais; (c) emergentes ou em declínio; e (d) básicos. O eixo das abscissas representa o grau de progresso, e o eixo das ordenadas, o grau de relevância (centralidade), com a amplitude das conexões refletindo a densidade temática (Figura 8).

Figura 8. Mapa temático



Fonte: Autores (2025) via bibliometrix.

No quadrante superior esquerdo, encontram-se os temas de nicho, caracterizados por elevada centralidade, mas com desenvolvimento ainda moderado. *Tags* como “DSM” (modelo digital de superfície) e “Flight Altitude” (altitude de voo) destacam-se nessa região, indicando aplicações especializadas e contextos específicos de pesquisa. A análise da altitude de voo, em conjunto com modelos de superfície, tem sido aplicada, por exemplo, em classificações geomorfológicas (Iwahashi, 2025) e em estudos de altimetria que consideram efeitos de variáveis microclimáticas (Kemp et al., 2013). A menor densidade observada sugere que tais temas ainda carecem de integração ampla com outras linhas de pesquisa, mantendo-se restritos a domínios aplicados específicos.

No quadrante superior direito, localizam-se os temas centrais, que exibem alta centralidade, desenvolvimento consolidado e elevada densidade de conexões. Termos como UAVs, “Image Processing” e “Object Detection” demonstram a maturidade dessas linhas de investigação, que constituem a base metodológica para aplicações em áreas silviculturais, justificando o objetivo do presente estudo. Já o quadrante inferior esquerdo abriga os temas emergentes ou em declínio, com destaque para a palavra-chave “UAV-Lidar”.

A posição nesse quadrante indica que se trata de uma linha de pesquisa em fase inicial de desenvolvimento ou que pode estar perdendo relevância perante novas abordagens. Tecnologias como, LiDAR acoplado a UAVs, representam tendências promissoras, mas ainda enfrentam desafios de custo, processamento e integração operacional (Sankey et al., 2017). Sua localização sugere a necessidade de acompanhamento contínuo para avaliar seu potencial de consolidação ou substituição por técnicas mais eficientes.

O quadrante inferior direito contém os temas básicos, compostos por termos como “Lidar”, “UAS”, “Forest”, “Remote Sensing”, “Machine Learning”, “UAV” e “Random Forest”. Estes apresentam baixa centralidade, mas um nível intermediário de desenvolvimento e alta recorrência em diferentes contextos científicos. A ubiquidade e versatilidade os tornam elementos vitais para a fundamentação teórica e metodológica de pesquisas na área, mesmo não se destacando como tópicos de fronteira.

Colaboradores de Cada País

A análise de colaboração por país (Figura 9) revela nítida liderança da China, que não apenas tem o maior volume de colaborações, mas também ocupa uma posição central na rede de cooperação internacional. Essa centralidade é um indicativo de que a China atua como um *hub* principal, conectando diversos outros países na coprodução de conhecimento. Os Estados Unidos consolidam-se como um dos maiores contribuidores, confirmando o binômio Sino-Americano como a força motriz dominante nessa área de pesquisa.

Figura 9. Rede de colaborações por país



Fonte: Autores (2025) via bibliometrix.

- Huang, X., Zhang, Y., Lan, Y., Thomson, S. J., & Fang, A. (2020). Design and experimentation of an aerial seeding system for rapeseed based on an air-assisted centralized metering device and a multi-rotor crop protection UAV. *Applied Sciences*, 10(24), 8854. <https://doi.org/10.3390/app10248854>
- Indústria Brasileira de Árvores. (2025). Relatório anual 2025. Recuperado de <https://iba.org/>
- Iwahashi, J. (2025). Depth to bedrock in Japan: Insights from borehole data and terrain analysis using digital elevation models. *Progress in Earth and Planetary Science*, 12, 23. <https://doi.org/10.1186/s40645-025-00698-3>
- Kemp, M. U., Shamoun-Baranes, J., Dokter, A. M., van Loon, E., & Bouten, W. (2013). The influence of weather on the flight altitude of nocturnal migrants in mid-latitudes. *Ibis*, 155(4), 734-49. <https://doi.org/10.1111/ibi.12064>
- Kotsemir, M. & Shashnov, S. (2017). Measuring, analysis and visualization of research capacity of university at the level of departments and staff members. *Scientometrics*, 112(3), 1659-89. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2430-8>
- Liu, B. T., Tao, H. P., Liu, S. Q., Yu, H., & Kong, B. (2012). Dynamics of regional ecological fragility under natural hazard stress: a case study in Qingping Town of Sichuan Province, Southwest China. *The journal of applied ecology*, 23(1), 193-8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22489499/>
- Liu, Y., Lei, P., You, Q., Tang, X., Lai, X., Chen, J., & You, H. (2023). Individual tree aboveground biomass estimation based on UAV stereo images in a eucalyptus plantation. *Forests*, 14, 1748. <https://doi.org/10.3390/f14091748>
- Marques, T., Silva, F. S., Santos, J. A., & Moreira, M. (2024). Applying deep learning to real-time UAV-based forest monitoring. *Expert Systems with Applications*, 245, 123107. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.123107>
- Merino, L., Caballero, F., Martínez-de-Dios, J. R., Maza, I., & Ollero, A. (2012). An unmanned aircraft system for automatic forest fire monitoring and measurement. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 65(1), 533-48. <https://doi.org/10.1007/s10846-011-9560-x>
- Mohan, M., Silva, C. A., Klauberg, C., Jat, P., Catts, G., Cardil, A., Hudak, A. T., & Dia, M. (2017). Individual tree detection from UAV-derived canopy height model. *Forests*, 8(9), 340. <https://doi.org/10.3390/f8090340>
- Moraes, H. M. F., Vitória, E. L., Ribeiro, L. F. O., & Santos, T. G. (2023). A bibliometric and scientometric analysis on the use of UAVs in agriculture, livestock and forestry. *Ciência Rural*, 53(8), e20220130. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220130>
- Prabhu, A., et al. (2024). UAVs for forestry: Metric-semantic mapping and diameter estimation. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 208, 111050. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2023.111050>
- R Core Team. (2025). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org>
- Ribeiro, F. O., et al. (2025). Droplet distribution and mitigation of occupational exposure risk in eucalyptus sprout eradication. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1504608. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1504608>
- Ribeiro, L. F. O., et al. (2023). Impact of operational parameters on droplet distribution using an unmanned aerial vehicle. *Agronomy*, 13(4), 1138. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041138>
- Ribeiro, M. E., Ribeiro, L. F., Santos, T., Nunes, J., & Vitória, E. L. (2024). Análise bibliométrica da produção científica sobre uso de aeronave remotamente pilotada. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 10(1), 94-104. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v10i1.43199>
- Ribeiro, L.F.O., et al. (2025). Droplet distribution and mitigation of occupational exposure risk in eucalyptus sprout eradication using a remotely piloted aircraft. *Frontiers in Plant Science*, (15), 1504608. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1504608>
- Rodrigues, C. & Godoy Vieira, A. F. (2016). Estudos bibliométricos sobre a produção científica. *InCID*, 7(1), 167-80. <https://doi.org/10.11606/issn.2178-2075.v7i1p167-180>
- Samiappan, S., Turnage, G., McCrae, C., Skidmore, J., Hathcock, L., & Moorhead, R. (2017). Post-logging estimation of loblolly pine (*Pinus taeda*) stump size, area and population using imagery from a small unmanned aerial system. *Drones*, 1, 4. <https://doi.org/10.3390/drones1010004>
- Sankey, T., Donager, J., McVay, J., & Sankey, J. B. (2017). UAV lidar and hyperspectral fusion for forest monitoring in the southwestern USA. *Remote Sensing of Environment*, 195, 30-43. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.007>
- Santos, T. G., Nunes, J. G. P., Piassi, J. Z., Oliveira, A. C. L. F., Ribeiro, L. F. O., Barbosa, M. E. S., Fernandes, A. A., & Vitória, E. L. (2024). Drones, inteligência artificial, internet das coisas e agricultura sustentável: Uma análise bibliométrica (2013-2023). *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 17(9), e10586. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.9-192>
- Shan, C., et al. (2022). Control efficacy and deposition characteristics of an unmanned aerial spray system low-volume application on corn fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). *Frontiers in*

Plant Science, 13, 900939.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.900939>

Silva, L. F., da Rocha, G. C., Crusoé, J. M. S., Souza, C. M. A., de Franco, J. R., Lima, C. F., & Minette, L. J. (2025). Balanço de carbono: uma análise comparativa entre cultivos de eucalipto e cana-de-açúcar. *Revista de Biotecnologia & Ciência*, 14, e16335. <https://doi.org/10.31668/qp239344>

Silva, M. R., Hayashi, C. R. M., & Hayashi, M. C. P. I. (2011). Análise bibliométrica e cientométrica: Desafios para especialistas que atuam no campo. InCID: *Revista de Ciência da Informação e Documentação*, 2(1), 110-29. <https://doi.org/10.11606/issn.2178-2075.v2i1p110-129>

Song, Z., et al. (2024). Multitemporal UAV study of phenolic compounds in slash pine canopies. *Remote Sensing of Environment*, 315, 114454. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114454>

Ulaş, F., et al. (2025). Global trends and research insights on herbicide resistance: A bibliometric analysis. *Phytoparasitica*, 53(4), 77. <https://doi.org/10.1007/s12600-025-01077-0>

Vieira, E. & Gomes, J. (2009). A comparison of Scopus and Web of Science for a typical university. *Scientometrics*, 81(2), 587-600. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-2178-0>

Vitória, E. L., et al. (2023). Efficiency of fungicide application using an unmanned aerial vehicle and pneumatic sprayer for control of *Hemileia vastatrix* and *Cercospora coffeicola* in mountain coffee crops. *Agronomy*, 13(2), 340. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020340>

Vitória, E. L., et al. (2025). Spatial variability in the deposition of herbicide droplets sprayed using a remotely piloted aircraft. *AgriEngineering*, 7(8), 245. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7080245>

Wang, C., et al. (2022). Spray performance evaluation of a six-rotor unmanned aerial vehicle sprayer for pesticide application using an orchard operation mode in apple orchards. *Pest Management Science*, 78(6), 2449-66. <https://doi.org/10.1002/ps.6864>

Yuan, C., Zhang, Y., & Liu, Z. (2015). A survey on technologies for automatic forest fire monitoring, detection, and fighting using unmanned aerial vehicles and remote sensing techniques. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(7), 783-92. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0347>

Zhang, H., et al. (2017). Bibliometric analysis of global remote sensing research during 2010-2015. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(11), 332. <https://doi.org/10.3390/ijgi6110332>

Zhang, J., Hu, J., Lian, J., Fan, Z., Ouyang, X., & Ye, W. (2016). Seeing the forest from drones: Testing the potential of lightweight drones as a tool for long-term forest monitoring. *Biological Conservation*, 198, 60-9. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.03.027>

Zhu, Y., Jeon, S., Sung, H., Kim, Y., Park, C., Cha, S., Jo, H.-W., & Lee, W.-K. (2020). Developing UAV-based forest spatial information and evaluation technology for efficient forest management. *Sustainability*, 12, 10150. <https://doi.org/10.3390/su122310150>