

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

MATHEUS PEDRO DA SILVA

**USO DO ESCANEAMENTO A LASER TERRESTRE NA ESTIMATIVA DE
ATRIBUTOS FLORESTAIS A PARTIR DE COLETAS AO NÍVEL DO SOLO: UM
MAPEAMENTO CIENCIOMÉTRICO**

**MONTE CARMELO
2026**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

MATHEUS PEDRO DA SILVA

**USO DO ESCANEAMENTO A LASER TERRESTRE NA ESTIMATIVA DE
ATRIBUTOS FLORESTAIS A PARTIR DE COLETAS AO NÍVEL DO SOLO: UM
MAPEAMENTO CIENCIOMÉTRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante de Jesus França

Co-orientador: Prof. Dr. Vicente Toledo Machado de Moraes Junior

**MONTE CARMELO
2026**

MATHEUS PEDRO DA SILVA

**USO DO ESCANEAMENTO A LASER TERRESTRE NA ESTIMATIVA DE
ATRIBUTOS FLORESTAIS A PARTIR DE COLETAS AO NÍVEL DO SOLO: UM
MAPEAMENTO CIENCIOMÉTRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Florestal, Campus Monte Carmelo, da
Universidade Federal de Uberlândia,
como parte dos requisitos necessários para
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Florestal.

Monte Carmelo, 5 de Março de 2026.

Banca Examinadora



Documento assinado digitalmente

LUCIANO CAVALCANTE DE JESUS FRANÇA

Data: 18/03/2026 10:02:18-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Luciano Cavalcante de Jesus França
Orientador - Universidade Federal de Uberlândia (ICIAG/UFU)



Documento assinado digitalmente

VICENTE TOLEDO MACHADO DE MORAIS JUNIO

Data: 18/03/2026 10:09:52-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Vicente Toledo Machado de Moraes Junior
Coorientador/ Membro interno - Universidade Federal de Uberlândia (ICIAG/UFU)



Documento assinado digitalmente

CRISTIANO RODRIGUES REIS

Data: 25/03/2026 11:05:21-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cristiano Rodrigues Reis
Membro externo - Swedish University of Agricultural Sciences (SLU)

**MONTE CARMELO
2026**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Moíses e Luciana, base da minha formação e do meu caráter, pelo amor, incentivo e apoio incondicional em todos os momentos.

Aos meus professores, Luciano e Vicente, que compartilharam conhecimento, orientação e inspiração ao longo desta trajetória acadêmica.

Aos amigos da universidade, companheiros de jornada, pelas trocas, aprendizados e apoio mútuo. Aos meus animais de estimação e às minhas plantas, que, com sua presença silenciosa e constante, trouxeram leveza e equilíbrio aos dias mais desafiadores.

E, de forma muito especial, à minha esposa Talita, meu maior apoio, minha força nos momentos difíceis e minha maior incentivadora. Este trabalho também é seu.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, pela força e pela sabedoria concedidas ao longo desta caminhada, especialmente nos momentos de dificuldade. Aos professores, que contribuíram de maneira significativa para minha formação acadêmica e profissional, compartilhando conhecimento, orientação e incentivo. E às circunstâncias que, de diferentes formas, conduziram-me até o presente momento, permitindo aprendizado, amadurecimento e crescimento pessoal.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à rede de colaboração que se formou ao longo do desenvolvimento deste trabalho, tornando possível a construção de um ambiente científico verdadeiramente cooperativo e enriquecedor. Agradeço especialmente aos professores Gilson, Diogo, Valéria, Eric, Luciano e Nívea, cujas orientações, contribuições intelectuais e incentivo constante foram fundamentais para a condução desta pesquisa. Da mesma forma, registro meu agradecimento à estudante Mikaelly, cuja colaboração e apoio ao longo do processo demonstram a importância do trabalho coletivo na construção do conhecimento científico.

Também sou grato pela integração institucional que fortaleceu este estudo, envolvendo pesquisadores e instituições de grande relevância acadêmica. A colaboração entre a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), a Universidade Federal de Viçosa (UFV), a Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), a Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e a Nanjing Forestry University evidencia a força das parcerias interinstitucionais na ciência. Em especial, agradeço ao professor Lin Cao, da Nanjing Forestry University, cuja participação ampliou o alcance internacional desta rede de pesquisa e contribuiu significativamente para o desenvolvimento e fortalecimento das discussões científicas presentes neste trabalho.

“A persistência é para o caráter do homem o que o carbono é para o aço.”

(Napoleon Hill)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Metodologia de revisão sistemática cienciométrica e mapeamento científico.	17
Figura 2. Número de artigos publicados entre os anos de 1984 e abril de 2025, indexados nas bases de dados Web of Science e Scopus.	18
Figura 3. Desempenho dos países mais citados e suas redes de colaboração.	20
Figura 4. Rede de co-ocorrência de palavras-chave.	21
Figura 5. Evolução temática.	22
Figura 6. Temas motores	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos estudos analisados, contemplando as seguintes variáveis: AU – Autor; DOI – Digital Object Identifier; CI – número de citações; M + TC: Metodologia + tipo de caminhamento ; N – Nível; I – Instrumento; S – software; O – objetivo; TF – Tipologia Florestal.	25
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO(S).....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1. COLETA DE DADOS	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1. COLABORAÇÃO INTERNACIONAL NA PESQUISA DE TLS FLORESTAL.....	19
4.2. REDE DE CO-OCORRÊNCIA DE PALAVRAS-CHAVE EM TLS FLORESTAL	21
4.3. DINÂMICA TEMÁTICA NA PESQUISA DE TLS FLORESTAL <i>AND TRENDS</i>	21
4.4. METANÁLISE SISTEMÁTICA DOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS, PROGRAMAS, MÉTODOS E TIPOLOGIAS FLORESTAIS	23
5. CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALS – Airborne Laser Scanning

GLS – Ground Laser Scanning

LIDAR – Light Detection and Ranging

MCP – Multiple Country Publications

MLS – Mobile Laser Scanning

PLS – Portable Laser Scanning

PRISMA – Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

SC – Scopus

SCP – Single Country Publications

TLS – Terrestrial Laser Scanning

WOS – Web of Science Core Collection

RESUMO

LiDAR (*Light Detection and Ranging*) é uma tecnologia baseada na emissão de pulsos de laser para medir distâncias e gerar modelos 3D. Este estudo se justifica pelo fato de que o Escaneamento a Laser Terrestre (TLS) ainda é uma tecnologia em processo de consolidação; diferentemente do Escaneamento a Laser Aéreo (ALS), diversos grupos de pesquisa estão trabalhando de forma independente, empregando uma ampla variedade de tecnologias e procedimentos distintos. O objetivo foi realizar uma análise cienciométrica com dados da Web of Science e da Scopus, a fim de compilar e compreender como diferentes iniciativas estão trabalhando com o escaneamento a laser em nível do solo, explorando suas distintas abordagens tecnológicas e procedimentos. Para o processamento dos dados, utilizou-se o ambiente R, com o pacote Bibliometrix, por meio do qual foi possível integrar as bases de dados e realizar o tratamento e a análise cienciométrica das publicações. A análise incluiu co-ocorrência de palavras-chave, redes de colaboração, países e linhas de pesquisa, além de um levantamento sistemático dos principais instrumentos utilizados, softwares, trajetórias de caminhada, finalidades pretendidas e tipologias florestais. Os resultados mostram que o desenvolvimento dos estudos ainda está concentrado em florestas boreais. A China emergiu como um polo central de inovação nesse campo, demonstrando uma presença multifacetada em diversas categorias temáticas na aplicação do escaneamento a laser em pesquisas florestais. Os achados deste estudo destacam que a ambiguidade terminológica permanece como uma questão crítica em aberto na área; portanto, propõe-se a adoção da designação *Ground Laser Scanning* (GLS) como um passo necessário para fornecer uma estrutura unificada. O estabelecimento de tal padronização contribuiria para enfrentar a fragmentação identificada nas pesquisas atuais, aprimorando a comunicação científica e resolvendo inconsistências que ainda dificultam uma organização mais coerente dos estudos sobre escaneamento a laser em nível do solo.

Palavras-chave: LiDAR, monitoramento florestal, sensoriamento remoto, estrutura tridimensional, mapeamento científico.

ABSTRACT

LiDAR (Light Detection and Ranging) is a technology based on the emission of laser pulses to measure distances and generate 3D models. This study is justified by the fact that *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) is still a maturing technology; unlike ALS, several research groups are working independently, employing a wide range of distinct technologies and procedures. The objective was to conduct a scientometric analysis with data from Web of Science and Scopus, to compile and understand how various initiatives are working with ground-level laser scanning, exploring their distinct technological approaches and procedures. For data processing, the R environment was used with the Bibliometrix package, which enabled the integration of the databases and the subsequent processing and bibliometric analysis of the publications. The analysis included keyword co-occurrence, collaboration networks, countries, and research lines, in addition to a systematic survey of the main instruments used, software, walking trajectory, intended uses, and forest typologies. The results show that studies developments are still concentrated in boreal forests. China has emerged as a central hub for innovation in this field, demonstrating a multifaceted presence across various thematic categories in the application of laser scanning within forestry research. The findings of this study highlight that terminological ambiguity remains a critical open issue within the field; therefore, adopting the designation of *Ground Laser Scanning* (GLS) is proposed as a necessary step to provide a unified framework. Establishing such a standard would address the fragmentation identified in current research, effectively enhancing scientific communication and resolving inconsistencies that still hinder a more coherent organization of ground-level laser scanning studies.

Keywords: LiDAR, forest monitoring, remote sensing, three-dimensional structure, science mapping.

1. INTRODUÇÃO

O escaneamento laser (*Light Detection and Ranging* - LiDAR) é um sistema de sensoriamento remoto óptico ativo que utiliza pulsos de laser para medir o tempo de ida e volta entre o sensor e o alvo. A partir de pulsos emitidos, o sistema gera uma nuvem de pontos 3D que representa fielmente as características da superfície. Essa capacidade torna o LiDAR uma ferramenta versátil em áreas como a topografia, a mineração e o monitoramento florestal (WEHR E LOHR, 2019).

A adoção do LiDAR pelo setor florestal foi inicialmente impulsionada pelo Airborne Laser Scanning (ALS), que permitiu mapear grandes áreas de floresta de forma rápida e precisa (DONAGER; SÁNCHEZ MEADOR; BLACKBURN, 2021). O Escaneamento a Laser Aéreo (ALS) revolucionou o inventário florestal ao fornecer modelos de altura do dossel em escala regional, superando as limitações de custo e logística dos levantamentos terrestres tradicionais (HYYPÄ et al., 2008). A capacidade de obter dados tridimensionais de maneira eficiente consolidou o ALS como a tecnologia líder para a mensuração de florestas, em termos de coleta de altura, em larga escala, abrindo caminho para o desenvolvimento também das técnicas terrestres.

As tecnologias de varredura a laser terrestre podem ser implementadas em plataformas estacionárias ou móveis. O *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) ou escaneamento a laser terrestre, utiliza *scanners* estacionários para capturar nuvens de pontos densas, permitindo medições não destrutivas e precisas da floresta, gerando dados de alta precisão para modelagem de troncos e inventário florestal, trazendo alta precisão para dados como diâmetro à altura do peito (DAP) (GOLLOB; RITTER; WASSERMANN; NOTHDURFT, 2019). As plataformas móveis incluem o *Mobile Laser Scanning* (MLS), no qual *scanners* são instalados em veículos, permitindo a aquisição eficiente dos dados ao longo de estradas e em parcelas extensas (ŠILJEG; ZIBRET; SEDERGA; et al., 2025). Já o *Portable Laser Scanning* (PLS) é operado diretamente por um usuário e pode ser acoplado a mochilas ou utilizado de forma manual, oferecendo maior flexibilidade operacional em terrenos acidentados e em áreas de difícil acesso (LIANG et al., 2016).

A utilização de scanners a laser permite superar as limitações visuais dos métodos

convencionais, fornecendo dados precisos sobre a estrutura das árvores e tornando as medições florestais mais confiáveis e reproduzíveis (CALDERS et al., 2020). O sistema de varredura a laser terrestre também se destaca na captura de informações detalhadas do sub-bosque, troncos e galhos inferiores, essencial para uma análise do ecossistema florestal (ŠILJEG; ZIBRET; SEDERGA; et al., 2025).

A multiplicidade de sistemas sensores LiDAR e plataformas de aquisição (TLS, MLS e PLS) gera uma fragmentação metodológica significativa, com diferentes protocolos de coleta, softwares de processamento e nuvem de pontos (LIANG et al., 2018; NEWNHAM G. et al 2015). Além disso, a coexistência de diferentes terminologias associadas a essas plataformas contribui para uma dispersão conceitual na literatura. Nesse sentido, propõe-se a adoção do termo *Ground Laser Scanning* (GLS) como uma nomenclatura integradora para tecnologias de escaneamento a laser realizadas acima do nível do solo, abrangendo sistemas tradicionalmente classificados como *Terrestrial Laser Scanning* (TLS), *Mobile Laser Scanning* (MLS) e *Portable Laser Scanning* (PLS). A padronização terminológica pode contribuir para maior clareza conceitual e comparabilidade entre estudos. Nesse contexto, torna-se relevante investigar como essa produção científica tem evoluído ao longo do tempo, identificando os períodos de maior disseminação da tecnologia, as tipologias florestais mais estudadas e os principais objetivos abordados nas pesquisas, como estimativa de biomassa, modelagem estrutural, quantificação de atributos dendrométricos e monitoramento ambiental. Além disso, compreender como o TLS vem sendo empregado no setor florestal permite analisar sua consolidação como ferramenta de alta precisão para caracterização tridimensional da vegetação.

Dessa forma, esta análise cienciométrica busca examinar os padrões e tendências da literatura científica relacionada ao TLS, avaliando os equipamentos mais utilizados, as metodologias de coleta de dados mais empregadas e os softwares predominantes no processamento das informações, bem como os motivos que justificam sua adoção. Pretende-se ainda identificar as nomenclaturas mais recorrentes, aquelas em declínio e as emergentes, além de mapear as palavras-chave mais relevantes que estruturam o campo de pesquisa. Ao integrar esses diferentes aspectos, o estudo visa oferecer uma visão abrangente da evolução, consolidação e direcionamento atual das pesquisas envolvendo TLS aplicado às ciências florestais.

2. OBJETIVOS E PERGUNTAS CIENTÍFICAS

O objetivo deste estudo foi analisar a produção científica das últimas quatro décadas sobre o uso da tecnologia laser em aplicações florestais a partir de coletas ao nível do solo. Com a finalidade de entender a diversidade de sistemas sensores, protocolos de coleta, atributos de nuvem e atributos florestais de interesse, dentre outras questões relevantes.

Esta pesquisa busca responder a algumas questões-chave: (I) Há um interesse crescente da comunidade científica sobre esse tema? (II) Quais tipologias florestais são as mais estudadas? (III) Quais são os principais objetivos abordados nas pesquisas? (IV) Quais equipamentos são mais utilizados nesse contexto? (V) Qual é a metodologia de coleta mais empregada? (VI) Quais são os softwares mais utilizados no processamento de dados, e por quais motivos? (VII) Quais nomenclaturas são amplamente utilizadas, quais estão em declínio e quais se encontram em ascensão? (VIII) Quais são as palavras-chave mais relevantes? (IX) Em que período a tecnologia TLS se disseminou e se popularizou nas pesquisas florestais? (X) Como o TLS vem sendo empregado no setor florestal?

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Coleta de dados

Realizamos a análise cienciométrica e o mapeamento sistemático utilizando as bases de dados *Web of Science Core Collection* (WoS), da *Clarivate Analytics*, e *Scopus* (SC). Estas foram selecionadas pela sua abrangência e rigor na indexação de literatura científica revisada por pares. A estratégia de busca empregou uma sintaxe com operadores booleanos, que são utilizados para combinar termos em estratégias de busca, permitindo ampliar ou restringir os resultados em bases de dados científicas (BOOTH; PAPAIOANNOU; SUTTON, 2016) (OR, AND, NOT), visando maximizar a precisão. A estratégia de busca foi elaborada para capturar terminologias relacionadas à estrutura e dinâmica florestal e a sistemas de LiDAR:

((*“forest*”* OR *“Forest* Monitoring”* OR *“Tree Structure”* OR *“Forest* structure”* OR *“Forest Growth”* OR *“Forest Dynamic”* OR *“Forest Inventory”* OR *“Individual Tree”* OR *“Stem”*) AND (*“TLS”* OR *“Terrestrial Laser Scan*”* OR *“PLS”* OR *“Personal Laser Scan*”* OR *“MLS”* OR *“HMLS”* OR *“Handheld Mobile Laser Scan*”* OR *“Proximity Laser Scan*”* OR *“Mobile Laser Scan*”* OR *“terrestrial LiDAR”* OR *“backpack laser scan*”* OR *“ground-based LiDAR”*) NOT (*“Airborne Laser Scan*”* OR *“ALS”* OR *“Aerial Laser Scan*”* OR *“Aerial LiDAR”* OR *“Airborne Laser Mapping”* OR *“UAV LiDAR”* OR *“UAV-borne LiDAR”* OR *“Citrus”* OR *“Lake”* OR *“Airborne”* OR *“Aluminum”*))

A coleta abrangeu todos os anos indexados até março de 2025, a partir de um filtro nos próprios periódicos (1984-2025). Um criterioso processo de limpeza removeu artigos de revisão, material editorial e outros tipos de documentos não-primários, priorizando apenas artigos científicos originais. Essa decisão foi adotada com o objetivo de garantir maior rigor e credibilidade científica à análise, uma vez que esse tipo de publicação passa por processo de avaliação por pares, assegurando maior confiabilidade metodológica e qualidade das informações apresentadas. A busca foi restrita a publicações em acesso aberto no idioma inglês, considerando que o inglês é o principal idioma da comunicação científica internacional, concentrando grande parte da produção e disseminação do conhecimento científico. Obteve-se 1947 artigos da WOS e 1988 da SC. Os registros completos foram baixados em formato bibtex para processamento no *software* R. A remoção de duplicatas resultou em uma resposta consolidada de 2665 registros únicos, que serviram como base empírica para as análises bibliométricas subsequentes.

Esta análise foi operacionalizada no ambiente R (versão 2023), utilizando o pacote *bibliometrix* e sua interface *biblioshiny* (Aria and Cuccurullo, 2017), que permitiu a construção de matrizes de co-ocorrência de palavras-chave, análises de co-citação e acoplamento bibliográfico, e a geração de mapas de colaboração científica e coautoria. Para garantir a transparência e a replicabilidade das etapas de identificação, triagem e inclusão dos artigos, utilizou-se o protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (MOHER et al., 2009). O arquivo de metadados passou por correção e remoção de metadados inconsistentes ou ausentes.

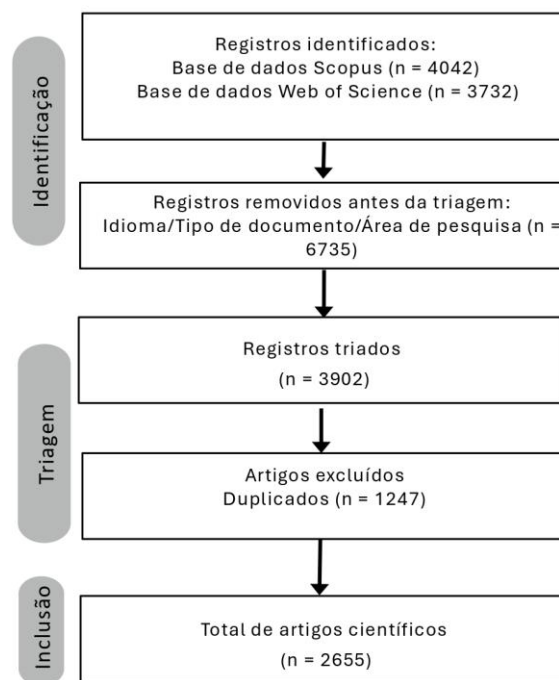


Figura 1. Metodologia de revisão sistemática cienciométrica e mapeamento científico.

Após a etapa de identificação dos estudos, procedeu-se à leitura dos títulos, palavras-chave e resumos dos artigos recuperados, com o objetivo de avaliar a aderência temática dos estudos ao uso do *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) no setor Florestal, bem como sua relevância científica para a análise proposta. Para a seleção dos artigos destinados à leitura aprofundada, os estudos foram priorizados de acordo com o número de citações acumuladas, adotado como um indicador do nível de impacto e reconhecimento na literatura científica. Dessa forma, artigos mais citados foram considerados prioritários para análise detalhada, sem prejuízo da inclusão de estudos recentes e ainda pouco citados, desde que apresentassem contribuição metodológica ou temática relevante.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução da produção científica em monitoramento florestal com TLS pode ser dividida em alguns estágios (Figura 2). O período inicial (1984-2010) apresentou um volume relativamente baixo de publicações, focado na validação da tecnologia. De 2012 a 2023, houve um crescimento exponencial impulsionado pela maturidade e acessibilidade do TLS, incluindo inovações em dispositivos de ponto fixo e móvel e novos programas que consolidam o TLS para inventariação e monitoramento florestal. Entre 2020 e 2022, entretanto, percebe-se uma estabilização no número de publicações, evidenciada pelo “degrau” presentes na curva de crescimento. Esse comportamento pode estar, potencialmente associado aos impactos da pandemia de COVID-19, que afetaram atividades de campo, cooperações internacionais e o andamento de projetos de pesquisa. Após esse período, observa-se um aumento expressivo nas publicações, indicando a retomada das atividades científicas e o fortalecimento do interesse pela aplicação do TLS em estudos florestais. Contudo, 2024 a 2025 revela uma queda abrupta. Esse resultado deve ser interpretado com cautela, uma vez que a base de dados foi filtrada até abril de 2025, o que pode ter limitado a recuperação de estudos publicados ao longo de 2024. Além disso, é possível que parte dos artigos ainda estivesse em processo editorial ou em prelo, não tendo sido indexada nas bases de dados no momento da coleta, o que contribui para a redução aparente no número de publicações nesse período.

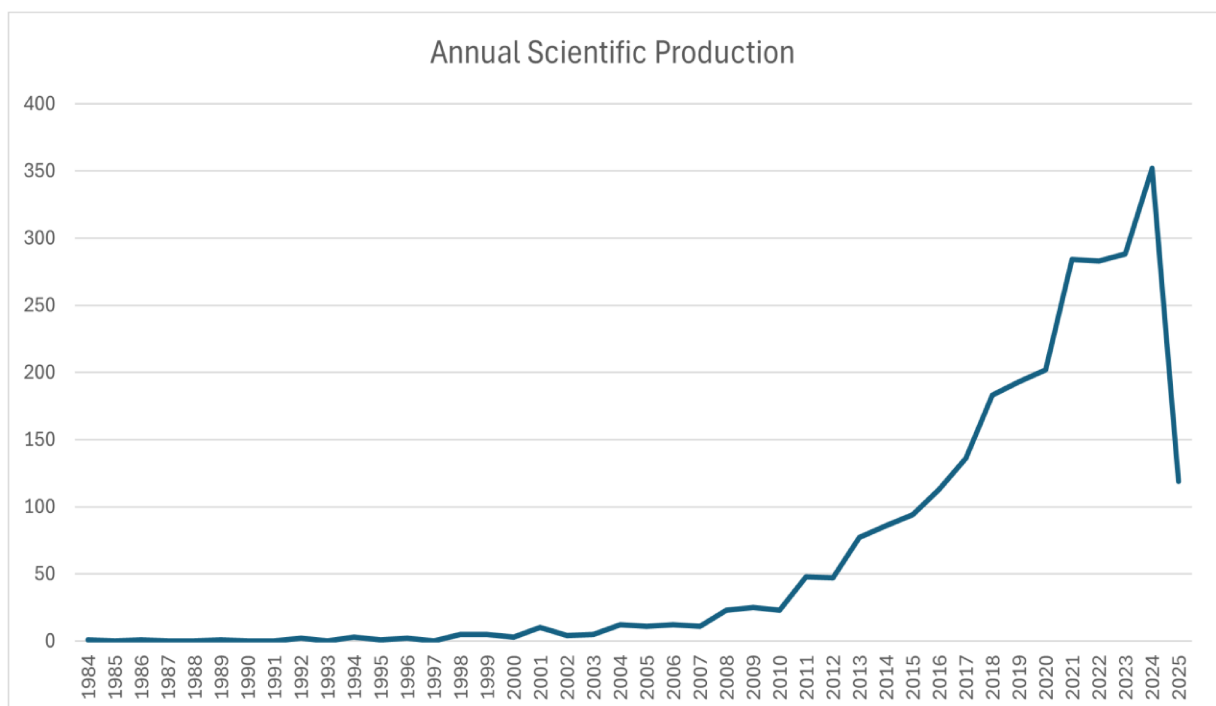


Figura 2. Número de artigos publicados entre os anos de 1984 e abril de 2025, indexados

nas bases de dados *Web of Science e Scopus*.

4.1. Colaboração internacional na pesquisa de TLS florestal

Observa-se que China, Estados Unidos e Alemanha são os principais polos fomentadores da pesquisa em TLS florestal (Figura 3). Esses países lideram em publicações de autoria única (SCP - *Single Country Publications*) e apresentam alta colaboração internacional (MCP - *Multiple Country Publications*). A liderança destes países pode estar relacionada ao pioneirismo e alta capacidade de investimento no desenvolvimento de tecnologias que aos poucos vão sendo aplicadas em diversas áreas. Essa situação mostra uma forte rede de cooperação científica global, com essas nações como principais produtoras de conhecimento e desenvolvimento metodológico na área. Esta rede incorpora importantes países florestais com destaque para Brasil, Austrália, Chile, África do Sul, Canadá, Finlândia e Reino Unido.

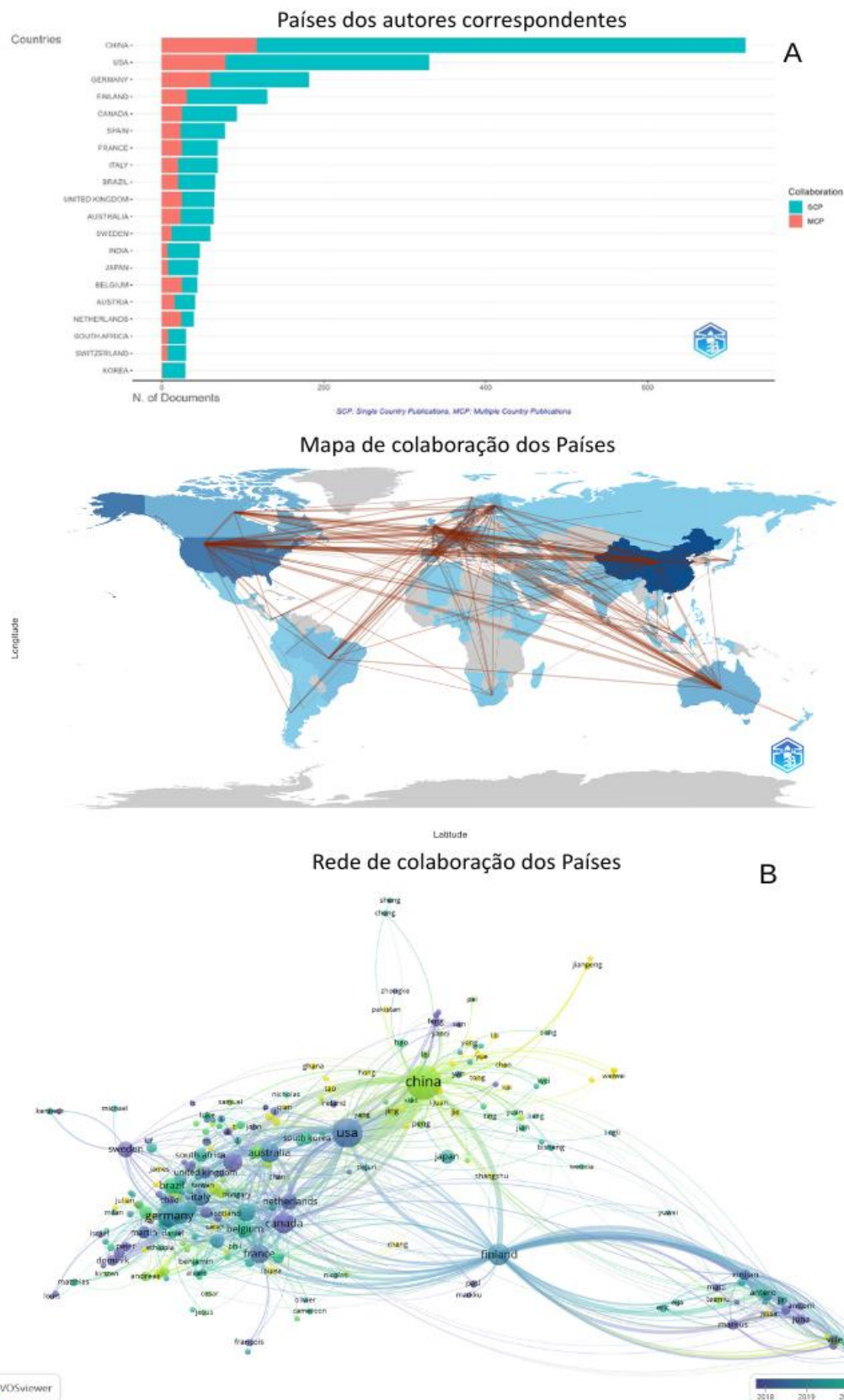


Figura 3. Desempenho dos países mais citados e rede de colaboração científica. Cada nó representa um país (tamanho proporcional ao número de publicações) e as conexões indicam colaborações científicas, cuja espessura reflete a intensidade das parcerias internacionais.

fundamentais e amplamente estabelecidos. O tema "*forest biomass models*" surge em uma área intermediária, sugerindo um desenvolvimento moderado.

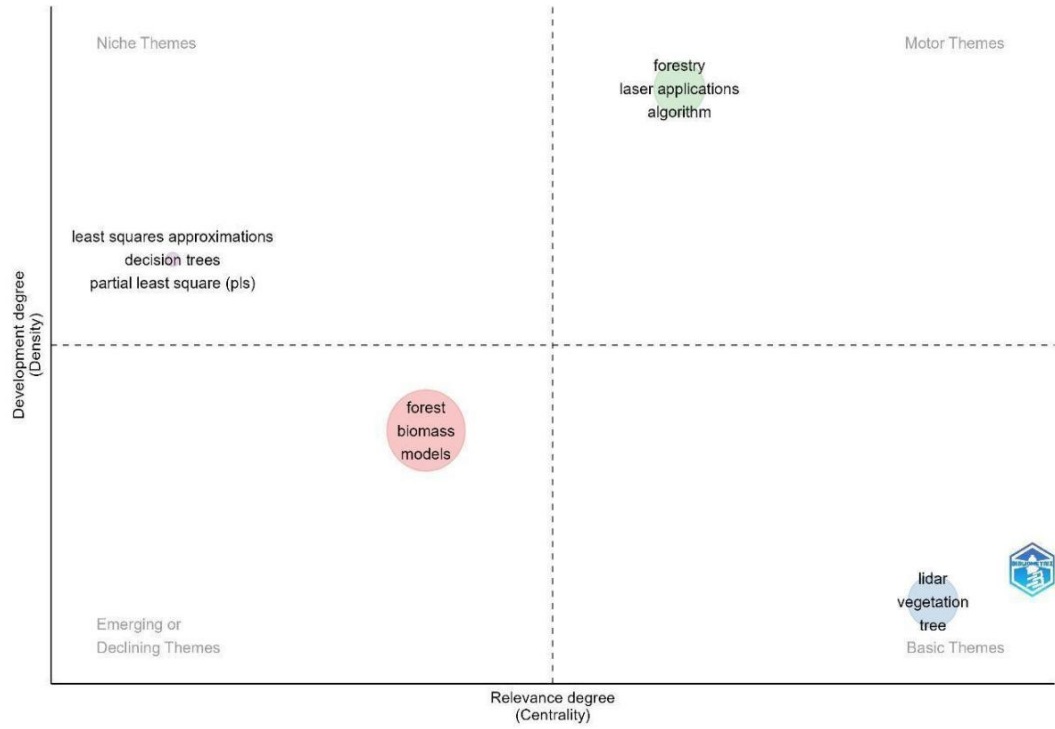


Figura 5. Evolução temática.

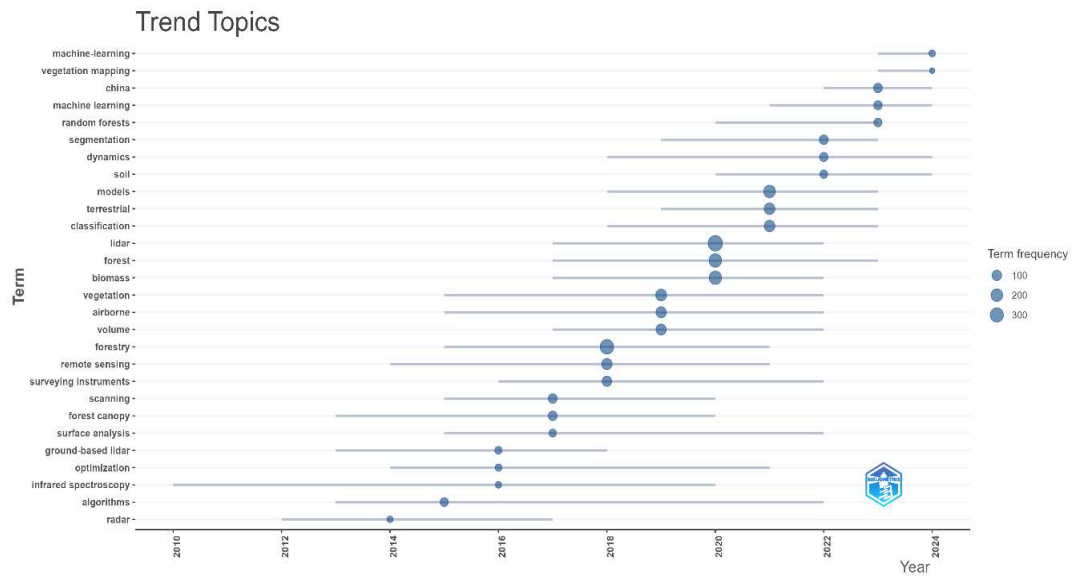


Figura 6. Temas motores

4.4. Metanálise sistemática dos principais equipamentos, programas, métodos e tipologias florestais

Foram levantados os 31 artigos mais citados sobre TLS a partir do levantamento bibliométrico, como mostra a Tabela 1. Dentre os trabalhos analisados, a metodologia de "Ponto Fixo múltiplo" é o mais frequente com 20 menções. A metodologia de "Ponto fixo único" tem 2 menções. A variação de Ponto Fixo (único e múltiplo) é mencionada 3 vezes. Levantamento por caminhamento têm 3 menções e a combinação das duas metodologias, "Ponto fixo e caminhamento", aparece uma única vez. 1 artigo científico não especifica o tipo de metodologia empregada, e outros 2 artigos são de revisão.

Os métodos de caminhamento empregados nos artigos descrevem sistemas de mapeamento móvel. O caminhamento constante linear implica deslocamento em linha reta e velocidade uniforme. O *Moblie Laser scanning* (MLS) em plataforma cinemática usa um *scanner* a laser em movimento para capturar dados. Quanto ao nível da unidade de estudo, 16 foram realizados em nível de parcela e 11 em nível de árvore, enquanto 3 utilizam os dois níveis da unidade de estudo. Os programas mais utilizados foram *Riscanpro* (5 menções), *Matlab* (4 menções), *TerraScan* (4 menções), *Cyclone* (3 menções), *Polyworks* (2 menções), *ArcGIS* (2 menções), *Faro scene* (2 menções) e *Pointstream 3DImage* (2 menções). A principal aplicação foi para "Inventário florestal" (15 ocorrências), seguida por quantificação da "Biomassa" (13 ocorrências), com menções isoladas a "Altura da árvore", "Biomassa foliar" e "Estrutura florestal".

As tipologias florestais mais frequentes foram Floresta de Coníferas (8 menções), Florestas Boreais (5 menções), florestas Temperadas (4 menções), Florestas mistas (3 menções), Savanas (3 menções) e Florestas Tropicais nativas (3 menções), evidenciando menor representação em ambientes tropicais. Esse resultado demonstra que há lacunas de estudos em florestas tropicais, sendo, portanto, tipologia oportuna para novas pesquisas em TLS. Os equipamentos mais citados foram Leica HDS6100 (7 menções), RIEGL V2-400 (5 menções), ILRIS-3D (3 menções), Faro Focus 3D 120 (3 menções), Itlis-3D (2 menções) e Riegl LMS-2420 (2 menções). Foram identificados diversos outros instrumentos que aparecem apenas uma vez no levantamento. Entre eles estão o modelo RIEGL LMS 2420 n-F and S 600 HERO, o sistema *Ground-Based Scanning Liquid* (RIS-300) da Duech Inc., e uma combinação específica utilizando um Ileos Lux e um Sick LMS151 *profile laser*. A lista segue com o modelo Leica HD56000 terrestrial laser scanner, uma configuração que inclui o Z+F IMAGER 5010e, o Z+F IMAGER 5010 e o RIEGL V2-400, e o TLS Sick LMS200. Também foram citados

individualmente o Riegl LM220, o Riegl LPW-300VHS, uma unidade de Mobile Laser Scanning (MLS) da East China Normal University (ECNU-PILS), o Leica ScanStation C10, uma opção entre o FARO Focus 120 ou FARO M70, e por fim, o Echidna® validation instrument (EVI). Vale a pena ressaltar que normalmente há associação entre *hardware e software* específicos na compra e aquisição deles.

Tabela 1. Descrição dos estudos analisados, contemplando as seguintes variáveis: AU – Autor; DOI – Digital Object Identifier; CI – número de citações; M + TC: Metodologia + tipo de caminhamento ; N – Nível; I – Instrumento; S – software; O – objetivo; TF – Tipologia Florestal.

AU	DOI	CI	M + TC	N	I	S	O	TF
RAUMONE N P. et al 2013	10.3390/rs5020491	57 5	Ponto Fixo(multiplo)	árvore	scanner a laser terrestre baseado em fase (Leica HDS6100) (650–690 nm)	MATLAB	inventar io florestal	<i>Picea abies (L.) H. Karst/ Pinus sylvestris/ Acer platanooides</i>
LIANG X. et al 2016	10.1016/j.isprsjprs.2016.01 .006	57 0	Ponto fixo e caminhamento(varre dura a laser móvel (MLS) em plataforma cinematica)	Parcela	Não especificado	Não especificado	Inventar io florestal	Não especificado
CALDER K. et al 2015	10.1111/2041-210X.12301	49 2	Ponto Fixo(multiplo)	Parcela	RIEGL VZ- 400 terrestrial laser scanner	RiSCANPR O software, biblioteca C++ baseada na Point Cloud Library (PCL) de código aberto, MATLAB	Biomassa	Floresta aberta de eucaliptos nativos

DASSOT M. et al	10.1007/s13595-011-0102-2	380	Ponto Fixo(Único e múltiplo)	árvore e parcela	Não especificado	AutoStem (TreeMetrics Ltd.), PolyWorks (InnovMetric Inc.), FARO Scene (FARO), Leica Cyclone (Leica Geosystems), POV-Ray (software de código aberto)	Inventário Floresta 1	Floresta de Coníferas
MAAS H. et al 2008	10.1080/01431160701736406	320	Não especificado	Parcela	Riegl LMS Z420i e Faro LS 800 HE80	TreeMetrics Ltd	inventário florestal	Florestas de coníferas, Florestas mistas, florestas decíduas
HOPKINSO N C. et al 2004	10.1139/X03-225	298	Ponto Fixo(múltiplo)	Parcela	Ground-Based Scanning Lidar/ILRIS-3D/Optech Inc.	Polyworks	Inventário Floresta 1	plantação madura de pinheiro vermelho e povoamento misto de folhosas

LIANG X. et al 2018	10.1016/j.isprsjprs.2018.06.021	289	Ponto Fixo(única e multipla)	Parcela	Leica HDS6100(650–690 nm)	LAStools, ArcGIS, DigiForet, SimpleTree, DendroCloud, SCOP++, 3D Forest, AutoStem, PCL e TerraScan	Inventário florestal	floresta boreal do sul em Evo, Finlândia
JAAKKOLA A. et al 2010	10.1016/j.isprsjprs.2010.08.002	274	Caminhamento(Carro/ Reta) - FGI Sensei Car-based mobile mapping em reta de estrada com 70 metros de comprimento	árvore	um Ibeo Lux e um Sick LMS151 profile laser	Waypoint Inertial Explorer, métodos e algoritmos desenvolvidos internamente	inventário florestal	Pinheiro Silvestre (Scots Pine) e Piceia Norueguesa (Norway Spruce)
LIANG X. et al 2012	10.1109/TGRS.2011.2161613	269	Ponto Fixo(Único)	Parcela	Leica HDS6000 terrestrial laser scanner	software Leica	inventário florestal	Floresta boreal típica, floresta mista
WILKES P. et al 2017	10.1016/j.rse.2017.04.030	254	Ponto Fixo(multiplo)	Parcela	RIEGL VZ-400	RIEGL's RiSCAN PRO, treeSeg	Inventário florestal	florestas tropicais e temperadas
BAUWENS S. et al 2016	10.3390/f7060127	253	Ponto Fixo(Multiplo)	Parcela	TLS FARO Focus 3D 120	FARO Scene software, Computree, CloudCompare, RiScan	Inventário florestal	Florestas de folhas largas (broadleaved)/Florestas de coníferas (coniferous)/

						Pro 2.0 (RIEGL LMS)		Florestas mistas (mixed)
HACKENBERG J. et al 2015	10.3390/f6114245	24 9	Ponto Fixo(Multiplo)	árvore	Z+F IMAGER 5010c / Z+F IMAGER 5010 / RIEGL VZ- 400	SimpleTree, PolyWorks, AutoCAD, Computree, PypeTree, CGAL, SPDLib, R e MATLAB.	Biomassa	<i>Erythrophleum fordii</i> , <i>Pinus massoniana</i> e <i>Quercus petraea</i> / <i>Eucalyptus leucoxylon</i> , <i>Eucalyptus microcarpa</i> e <i>Eucalyptus tricarpa</i>
ROSELL J. et al 2009	10.1016/j.agrformet.2009.04.008	24 1	Caminhamento(Trator/ Reta) - caminhamento constante linear: movido em uma direção paralela à fileira de árvores a uma velocidade conhecida e constante	árvore	TLS Sick LMS200	Software próprio dos autores, MATLAB, VBA para AutoCAD, além de softwares CAD, GIS, estatísticos e computacionais gerais.	Biomassa	pomares de frutíferas (Citricas, videiras, frutíferas mediterraneas)
COTE J. et al 2009	10.1016/j.rse.2009.01.017	23 4	Ponto Fixo(Multiplo)	árvore	Ilris-3D da Optech Inc	Pointstream 3DImageSuite	inventário florestal	<i>Pseudotsuga menziesii</i> , <i>Thuja plicata</i> , <i>Tsuga heterophylla</i> , <i>Pinus halepensis</i>

WANG Y. et al 2019	10.1016/j.isprsjprs.2018.11.008	222	Ponto fixo(multiplo)	arvore	Leica HDS6100 TLS scanner	Software do fabricante do scanner e TerraScan.	Altura da arvore	Floresta Boreal
BÉLAND M. et al 2014	10.1016/j.agrformet.2013.09.005	219	Ponto fixo(multiplo)	arvore e parcela	ILRIS-3D	RiScan Pro	Biomassa	Savana de folhas largas
BÉLAND M. et al 2011	10.1016/j.agrformet.2011.05.004	218	Ponto fixo(multiplo)	arvore	ILRIS-3D	Pointstream 3DImageSuite software (Pointstream Inc., Ontario, Canada), Prism software (GraphPad Software Inc., USA)	Biomassa	Savana de folhas largas
KANKARE V. et al 2013	10.1016/j.isprsjprs.2012.10.003	216	Ponto fixo(multiplo)	arvore	Leica HDS6100 TLS system	Leica Cyclone, TerraScan e R.	Biomassa	Zona Florestal Boreal
SINGH A. et al 2015	10.1890/14-2098.1.sm	207	Trabalho com Espectrometro	---	---	---	---	---
DANSON F. et al 2007	10.1109/LGRS.2006.887064	206	Ponto fixo(multiplo)	parcela	Riegl LMZ210	Gap Light Analyzer (GLA) na Versão 2.0 e não especificado para dados TLS	Biomassa foliar	floresta seminatural

EHBRECHT M. et al 2017	10.1016/j.agrformet.2017.04.012	200	Ponto fixo(multiplo)	parcela	Faro Focus 3D 120	software Mathematica (Wolfram Research, Champaign, EUA), ambiente de software R, versão 3.2.3 (R Development Core Team, 2016),	Estrutura florestal	Fagus sylvatica L., Picea abies [Karst.] L., Pinus sylvestris L., Quercus robur L.,
DE T J. et al 2018	10.1111/2041-210X.12904	197	Ponto fixo(multiplo)	parcela	RIEGL VZ-400 3D® terrestrial laser scanner	RiScan PRO	Biomassa acima do solo	Floresta Tropical nativa do Peru, Indonésia e Guiana
WATT P. et al 2005	10.1080/01431160512331337961	196	Ponto fixo(multiplo)	parcela	Riegl LPM-300VHS	TerraScan software	Inventario florestal	floresta comercial de coníferas de planalto no norte da Inglaterra
WU B. et al 2013	10.3390/rs5020584	194	Caminhamento(Van) - O sistema (ECNU-MLS) registra a trajetória do veículo ao longo das estradas	árvore	Mobile Laser Scanning (MLS) da East China Normal University (ECNU-MLS)	Voxel-based Marked Neighborhood Searching (VMNS) usou ferramentas como: Arcgis engine 10.0; Linguagem de programação C#; Ambiente microsoft Visual Studio 2010	Inventario florestal	Arborização Viária urbana na China

LIANG X. et al 2014	10.1109/TGRS.2013.2253783	185	Ponto fixo(multiplo)	parcela	Leica HDS6100	Leica Cyclone e Terrascan	Inventario florestal	Arvores coníferas (Pinheiro escocês e Abeto Norueguês)
OLOFSSON K. et al 2014	10.3390/rs6054323	181	Ponto fixo(único)	parcela	Leica ScanStation C10	Desenvolvida pelos autores a partir de linguagem de programação (C, Python, R) e algoritmo chave RANSAC	Inventario florestal	loresta hemiboreal no sudoeste da Suécia
TAO S. et al 2015	10.1016/j.isprsjprs.2015.10.007	175	Ponto fixo(multiplo)	parcela	Riegl VZ400	RISCAN PRO software; Matlab 2013b; C++; LiForest software; ArcScene 10.1 (ESRI Inc.)	biomassa	China : Florestas de Folha Larga (Broadleaved); Florestas Coníferas; Árvores de Beira de Estrada
EHBRECHT M. et al 2021	10.1038/s41467-020-20767-z	172	Ponto fixo(multiplo)	parcela	FARO Focus 120 ou FARO M70	FARO SCENE; Mathematica; R; SAGA; WorldClim2 database	biomassa	Florestas Boreais; Florestas Temperadas de Folhosas ; Florestas Temperadas de Coníferas; Florestas Tropicais Úmidas de Folhosas ; Savanas
VAN DER ZANDE et al., 2006	10.1016/j.agrformet.2006.09.007	162	Avaliação da precisão de medições de estrutura arbórea utilizando LiDAR terrestre	---	---	---	---	---
BAYER D. et al 2013	10.1007/s00468-013-0854-4	161	ponto fixo (múltiplo)	arvore	Riegl LMS- Z420i TLS	Mayavi para Python; kd- tree-based nearest neighbour algorithm; R	biomassa	Alemanha: Abeto-da- Noruega; Faia Europeia
COTE J. et al 2011	10.1016/j.envsoft.2010.12.008	161	ponto fixo (múltiplo)	arvore	Ilris-3D da Optech Inc	Pointstream (3DImageSuite); L-Architect	biomassa	Canadá : Floresta Temperada

						(Lidar data to tree Architecture); MCS (Global Optimization by Multilevel Coordinate Search)		Conífera; França: floresta mediterranea
STRAHLER A. et al 2008	10.5589/m08-046	160	Ponto Fixo(única e multipla)	árvore e parcela	Echidna® validation instrument (EVI)	Algoritmo "find-trunks"; Modelo GORT; gap probability	biomassa	Austrália: plantação de Pinus ponderosa; floresta esclerófila úmida e aberta(Eucalyptus delagatensis e Eucalyptus dalrymplean.)

A produção científica envolvendo o uso de LiDAR terrestre em florestas apresenta um crescimento mais expressivo a partir de 2010, com uma consolidação do desenvolvimento da área sobretudo após 2012 (SEIDEL *et al.*, 2012; LINDBERG *et al.*, 2012). Esse avanço está fortemente associado ao aumento da acessibilidade a novos instrumentos de medição, ao surgimento de softwares mais robustos, ao progressivo barateamento dos equipamentos e à difusão de metodologias especializadas (SKLADAN *et al.*, 2025; NEWNHAM *et al.*, 2015). Observa-se um ritmo acentuado e contínuo de publicações até 2024, seguido por uma aparente redução em 2025. No entanto, essa queda deve ser interpretada com cautela, uma vez que a análise cienciométrica foi realizada em abril de 2025, período no qual muitas publicações submetidas no final de 2024 e início de 2025 ainda não estavam indexadas nas bases consultadas.

A revista *Remote Sensing* (ISSN:2072-4292) apresenta o maior número de publicações sobre LiDAR terrestre, o que se justifica por seu elevado fator de impacto e por sua centralidade na difusão de tecnologias de sensoriamento remoto (AGUILAR *et al.*, 2024; ZHANG *et al.*, 2019). Em seguida, destaca-se a revista *Forests* (ISSN: 1999-4907), cuja predominância se relaciona à sua forte vinculação com a mensuração florestal, abrangendo inventários, estimativas de biomassa e estudos voltados à quantificação estrutural das florestas, o que a torna um veículo naturalmente alinhado às aplicações do LiDAR terrestre (URIBE-TORIL *et al.*, 2019). Além do alinhamento temático, outro fator que pode contribuir para o elevado número de publicações nesse periódico é o tempo reduzido entre submissão, revisão e publicação, característica associada a periódicos de acesso aberto com fluxo editorial contínuo. Essa agilidade no processo editorial tende a atrair pesquisadores que buscam maior rapidez na publicação de seus resultados científicos, direcionando parte significativa das submissões para esse periódico. Por fim, *Remote Sensing of Environment* (ISSN: 0034-4257) ocupa a terceira posição em volume de publicações, refletindo seu papel consolidado na disseminação de metodologias avançadas de sensoriamento remoto e sua relevância equivalente à da revista líder no que diz respeito ao rigor e à abrangência temática (AGUILAR *et al.*, 2024). Embora seja o periódico mais antigo entre os três, fundado em 1969, o menor número de publicações nessa revista pode estar relacionado ao seu processo editorial mais seletivo e ao escopo mais amplo dentro do sensoriamento remoto, enquanto periódicos como *Remote Sensing* e *Forests* apresentam maior especialização temática e fluxo editorial mais dinâmico, fatores que favorecem um maior volume de artigos publicados nas áreas de ciência florestal e sensoriamento remoto aplicado.

Observa-se que China, Estados Unidos e Alemanha são, respectivamente, os países que mais publicam sobre o uso de LiDAR terrestre em florestas (RAUMONEN *et al.*, 2013). Esse destaque se relaciona, em parte, às colaborações internacionais estabelecidas com nações responsáveis pelo desenvolvimento das principais tecnologias empregadas (ASNER *et al.*, 2008), bem como pela fabricação de equipamentos de referência, como o *Faro Focus 3D*, produzido nos EUA (SHEN *et al.*, 2023; (IDREES *et al.*, 2016). Além disso, esses países figuram entre aqueles que mais investem em educação superior e pesquisa científica, abrigando instituições acadêmicas pioneiras na área de estudo (JIN; CHEN, 2018). Esse contexto favorece o acesso a treinamento especializado, equipamentos de alta precisão e softwares avançados, fatores que contribuem para a elevada produtividade científica observada na área (RAUMONEN *et al.*, 2013). No Brasil, iniciativas institucionais têm buscado reduzir essa assimetria na produção científica internacional, como os acordos transformativos estabelecidos pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) com editoras científicas internacionais, como *Elsevier* e *Springer Nature*. Esses acordos visam ampliar o acesso a periódicos e viabilizar a publicação em acesso aberto por pesquisadores vinculados a instituições brasileiras, contribuindo para diminuir barreiras econômicas na comunicação científica e ampliar a visibilidade da produção nacional.

A análise das palavras-chave revela a formação de três grandes blocos temáticos inter-relacionados. O primeiro agrupa termos como *terrestrial*, *scanning* e *laser*, diretamente vinculados ao sensoriamento remoto e a tecnologia Lidar terrestre (CHERLET *et al.*, 2026; BOHNHORST *et al.*, 2026, p. 1). O segundo reúne palavras associadas à ciência florestal, como *tree* e *forest*, refletindo o foco nas aplicações ecológicas e mensuração florestal (CHERLET *et al.*, 2026). O terceiro bloco concentra termos relacionados ao processamento e análise de dados, como *data*, *machine learning*, *random forest* e *point clouds* (PRATICÒ *et al.*, 2021). É importante destacar que esses três grupos dialogam entre si tanto pela própria formulação da busca, que integra as áreas por meio de operadores como “AND”, quanto pela natureza interdisciplinar do tema (DONTHU *et al.*, 2021). As duas frentes centrais do estudo, LiDAR terrestre e mensuração florestal, dependem intrinsecamente de métodos avançados de tratamento e processamento de dados, o que explica a forte presença do terceiro bloco (RAUMONEN *et al.*, 2013). Assim, forma-se uma rede de palavras-chave interconectadas, organizada em três domínios científicos complementares, que sustentam e estruturam a produção acadêmica analisada (VAN DER ZANDE *et al.*, 2006).

No mapa temático, observa-se que os termos *forestry*, *laser applications* e *algorithm*

aparecem como temas motores, indicando alta relevância e contínuo desenvolvimento dentro da área (DAI *et al.*, 2019, p. 94). Esse comportamento reflete a constante evolução de tecnologias, métodos de manejo florestal e equipamentos cada vez mais robustos, o que sustenta a ascensão e a centralidade dessas terminologias (NEWNHAM *et al.*, 2015, p. 239; CALDERS *et al.*, 2020, p. 2). Em seguida, destacam-se os temas intermediários, como *forest biomass* e *models*, que apresentam nível moderado de desenvolvimento, mas mantêm forte correlação com os temas motores, reforçando sua importância para aplicações práticas e análises estruturais em florestas (CHAZDON *et al.*, 2016; DANDOIS; ELLIS, 2013). Por fim, os temas já consolidados, como *LiDAR*, *vegetation* e *tree*, representam conceitos fundamentais, porém mais amplos e menos específicos para diferenciar abordagens dentro da área estudada (ALONZO; BOOKHAGEN; ROBERTS, 2014). Esses termos, embora essenciais, não são os principais direcionadores de inovação científica, mas constituem a base conceitual sobre a qual os demais avanços se apoiam (DONAGER; SÁNCHEZ MEADOR; BLACKBURN, 2021).

A metodologia mais empregada nos estudos analisados foi a de ponto fixo múltiplo. Em comparação ao método de caminhamento, essa preferência pode ser explicada pelo fato de que o caminhamento demanda maior tempo para planejamento e execução, exigindo a definição de rotas que considerem declividade, obstáculos, acessibilidade e disponibilidade de veículos, fatores que elevam custos e tornam a coleta de dados mais demorada (RAUMONEN *et al.*, 2013; BAUWENS; BARTHOLOMEUS; CALDERS; LEJEUNE, 2016). Além disso, o caminhamento está mais sujeito a erros relacionados à trajetória e ao movimento do equipamento, o que pode reduzir a acurácia dos dados obtidos (LIANG; KELLER; HUANG, 2016; LIANG *et al.*, 2018). Quando comparada ao método de ponto fixo único, ele evidencia um consenso na área sobre a necessidade de capturar a estrutura florestal sob diferentes ângulos para minimizar oclusões e obter modelos tridimensionais mais completos e precisos da vegetação, permitindo uma representação mais abrangente e precisa da superfície florestal estudada (GOLLOB; RITTER; WASSERMANN; NOTHDURFT, 2019). Essas vantagens justificam sua predominância nas pesquisas envolvendo lidar terrestre (ŠILJEG; ZIBRET; SEDERGA; *et al.*, 2025).

A escolha do nível de análise em cada estudo mostrou-se diretamente relacionada aos objetivos específicos da pesquisa. A utilização da unidade *parcela* é predominante em trabalhos voltados ao inventário florestal, uma vez que esse recorte espacial permite estimativas mais robustas de variáveis estruturais em escala de povoamento (COSTA; REGAZZI, 2010; ZHAO;

ZHU; MENG, 2022). Por outro lado, quando a unidade de análise é a *árvore individual*, observa-se forte correlação com estudos focados na quantificação de biomassa, especialmente aqueles dedicados a avaliar características de uma espécie em particular, contexto no qual a análise em nível de árvore se mostra mais adequada e precisa (KANKARE et al., 2013; XU et al., 2021).

Observa-se um destaque para a aplicação do LiDAR terrestre em florestas de coníferas, o que se explica pelo fato de esse tipo de vegetação ser predominante nos países que mais publicam sobre o tema, além de apresentar ampla representação em seus plantios comerciais (CALDERS et al., 2020; TAO et al., 2021). A colaboração internacional entre esses países também fortalece essa tendência, uma vez que facilita o compartilhamento de métodos, dados e tecnologias (COMPEÁN-AGUIRRE; LÓPEZ-SERRANO, 2024; MAEDA et al., 2025). Entre os equipamentos mais citados, é coerente notar que muitos foram desenvolvidos justamente nesses mesmos países, tanto por serem detentores das principais áreas florestais estudadas quanto por concentrarem grande parte da produção científica na área (XU et al., 2017; WANG E LU, 2009; SCHMITZ et al., 2019; RYDIN et al., 2015). Da mesma forma, os softwares destacados apresentam proporcionalidade em relação aos equipamentos utilizados, uma vez que, em grande parte dos casos, são disponibilizados ou recomendados pelos próprios fabricantes quando o equipamento é adquirido (WANG Y. et al 2019; CALDERS K. et al 2015)

A metodologia de ponto fixo múltiplo emergiu como a principal estratégia de coleta, sendo citada em 20 dos 32 artigos. Essa predominância evidencia um consenso na área sobre a necessidade de capturar a estrutura florestal sob diferentes ângulos para minimizar oclusões e obter modelos tridimensionais mais completos e precisos da vegetação.

A unidade de parcelas foi referenciada em 16 trabalhos, consolidando-se como o desenho amostral padrão para a aplicação do laser scanning em pesquisas florestais. Essa abordagem permite a validação e a comparação direta dos dados escaneados com métodos de inventário tradicional, fundamentando a precisão da tecnologia em áreas delimitadas e conhecidas.

Dentre os equipamentos, o scanner Leica HDS6100 foi citado em 7 dos artigos mais influentes, destacando-se como um instrumento de referência no período analisado. Sua recorrência sugere que seu desempenho, confiabilidade e talvez sua ampla disponibilidade de softwares foram cruciais para a consolidação metodológica do laser scanning na ciência florestal.

O foco na aplicação do laser scanning para inventário florestal foi mencionado em 15 artigos, demonstrando sua principal função de extrair parâmetros dendrométricos precisos, como

DAP, altura e volume de madeira, automatizando e potencializando os processos de quantificação de recursos florestais. As florestas de coníferas foram o ecossistema alvo em 8 dos estudos de maior impacto, indicando uma aplicação inicialmente concentrada neste tipo de formação.

5. CONCLUSÃO

A análise cienciométrica evidenciou lacunas em estudos com o TLS para monitoramento florestal, uma vez que a grande maioria dos estudos relacionados ao LIDAR são comumente voltadas para a utilização do ALS, além de que as tipologias florestais mais estudadas são florestas boreais, abrindo caminho e oportunidades para estudos em florestas tropicais, fazendo assim com que o laser scanning seja uma ferramenta complementar para o monitoramento florestal. Diante da variedade de termos como *Mobile, Terrestrial e Portable Laser Scanning* para tecnologias semelhantes, propõe-se a adoção da nomenclatura "*Ground Laser Scanning*" (GLS) como padrão. Esta definição abrange de forma clara e unificada todos os sistemas de varredura a laser operados a partir do solo, eliminando ambiguidades. A padronização como GLS facilitaria a comunicação científica e a organização de pesquisas na área.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, F. J. et al. Forestry applications of space-borne LiDAR sensors: a worldwide bibliometric analysis. **Sensors**, Basel, v. 24, art. 1106, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s24041106>.
- ALONZO, M.; BOOKHAGEN, B.; ROBERTS, D. A. Urban tree species mapping using hyperspectral and LiDAR data fusion. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 148, p. 70–83, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.03.018>.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, Amsterdam, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.
- ASNER, G. P.; MARTIN, R. E. Spectral and chemical analysis of tropical forests: scaling from leaf to canopy levels. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 112, p. 3958–3970, 2008.
- BAUWENS, S.; BARTHOLOMEUS, H.; CALDERS, K.; LEJEUNE, P. Forest inventory with terrestrial LiDAR: a comparison of static and hand-held mobile laser scanning. **Forests**, Basel, v. 7, n. 6, p. 127, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f7060127>.
- BOHNHORST, L. et al. Tree crown metrics as indicators for drought stress resistance? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 599, art. 123274, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.123274>.
- BOOTH, A.; PAPAIOANNOU, D.; SUTTON, A. **Systematic approaches to a successful literature review**. 2. ed. London: Sage, 2016.
- CALDERS, K. et al. Nondestructive estimates of above-ground biomass using terrestrial laser scanning. **Methods in Ecology and Evolution**, London, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12301>.
- CALDERS, K. et al. *Terrestrial Laser Scanning* in forest ecology: expanding the horizon. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 251, 2020.
- CHAZDON, R. L. et al. Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. **Science Advances**, Washington, v. 2, n. 5, e1501639, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501639>.
- CHERLET, W. et al. Benchmarking tree instance segmentation of *Terrestrial Laser Scanning* point clouds. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 231, p. 230–247, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2025.10.033>.

COMPEÁN-AGUIRRE, J. L.; LÓPEZ-SERRANO, P. M. Bibliometric insights into *Terrestrial Laser Scanning* for forest biomass estimation. **Ecologies**, Basel, v. 5, n. 3, p. 470–490, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ecologies5030029>.

COSTA, T. C. C. da; REGAZZI, A. J. Amostragem para inventário florestal com probabilidade de superposição de parcelas circulares. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 137–145, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000100015>.

DAI, W. et al. Automated fusion of forest airborne and terrestrial point clouds through canopy density analysis. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 156, p. 94–107, 2019.

DANDOIS, J. P.; ELLIS, E. C. High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 136, p. 259–276, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.04.005>.

DONAGER, J. J.; SÁNCHEZ MEADOR, A. J.; BLACKBURN, R. C. Adjudicating perspectives on forest structure: how do airborne, terrestrial, and mobile lidar-derived estimates compare? **Remote Sensing**, Basel, v. 13, n. 12, p. 2297, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13122297>.

DONTHU, N. et al. How to conduct a bibliometric analysis: an overview and guidelines. **Journal of Business Research**, Amsterdam, v. 133, p. 285–296, 2021.

FRANÇA, L. C. J. et al. Forest landscape planning and management: a state-of-the-art review. **Trees, Forests and People**, Amsterdam, v. 8, 2022.

GOLLOB, C. et al. Influence of scanner position and plot size on the accuracy of tree detection and diameter estimation using *Terrestrial Laser Scanning* on forest inventory plots. **Remote Sensing**, Basel, v. 11, n. 13, p. 1602, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs11131602>.

HYYPÄ, J. et al. Review of methods of small-footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 29, n. 5, p. 1339–1366, 2008.

IDREES, M. O.; PRADHAN, B. A decade of modern cave surveying with terrestrial laser scanning: a review of sensors, method and application development. **International Journal of Speleology**, Bologna, v. 45, n. 1, p. 71–88, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5038/1827-806X.45.1.1923>.

JIN, L.; CHEN, R. Analysis on education spending per student in OECD main countries. In: **International conference on culture, education and economic development of modern society (iccese)**, 2., 2018. Proceedings [...]. [S.l.]: Atlantis Press, 2018.

KANKARE, V. et al. Individual tree biomass estimation using terrestrial laser scanning. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 75, p. 64–75, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.10.003>.

LIANG, X.; HUANG, H.; KELLER, M. *Terrestrial Laser Scanning* in forest inventories. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 115, p. 94–108, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.006>.

LIANG, X. et al. International benchmarking of *Terrestrial Laser Scanning* approaches for forest inventories. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 144, p. 137–154, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.06.021>.

MAEDA, E. E. et al. Expanding forest research with terrestrial LiDAR technology. **Nature Communications**, London, v. 16, p. 8853, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-025-63946-6>.

MINGERS, J.; LEYDESDORFF, L. A review of theory and practice in scientometrics. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 246, p. 1–19, 2015.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. **Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement**. *PLoS Medicine*, v. 6, n. 7, 2009.

NEWNHAM, G. J. et al. *Terrestrial Laser Scanning* for plot-scale forest measurement. **Current Forestry Reports**, Cham, v. 1, p. 239–251, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40725-015-0025-5>.

PRATICÒ, S. et al. Machine learning classification of Mediterranean forest habitats in Google Earth Engine based on seasonal Sentinel-2 time-series and input image composition optimisation. **Remote Sensing**, Basel, v. 13, n. 4, p. 586, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13040586>.

RAUMONEN, P. et al. Fast automatic precision tree models from terrestrial laser scanner data. **Remote Sensing**, Basel, v. 5, n. 2, p. 491–520, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs5020491>.

RYDIN, G. et al. Assessing handheld mobile laser scanners for forest surveys. **Remote Sensing**, Basel, v. 7, n. 1, p. 1095–1111, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs70101095>.

SEIDEL, D. et al. The potential of *Terrestrial Laser Scanning* for the estimation of understory biomass in coppice-with-standard systems. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, 2012.

SHEN, N. et al. A review of *Terrestrial Laser Scanning* (TLS)-based technologies for deformation monitoring in engineering. **Measurement**, Amsterdam, v. 223, art. 113684, 2023.

SKLADAN, M. et al. Choosing the right close-range technology for measuring DBH in fast-growing trees plantations. **Trees, Forests and People**, Amsterdam, v. 19, art. 100747, 2025.

TAO, S. et al. Mapping tropical forest trees across large areas with lightweight cost-effective terrestrial laser scanning. **Annals of Forest Science**, Paris, v. 78, art. 103, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01113-9>.

URIBE-TORIL, J. et al. Forests' first decade: a bibliometric analysis overview. **Forests**, Basel, v.

10, n. 1, art. 72, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f10010072>.

VAN DER ZANDE, D. et al. Influence of measurement set-up of ground-based LiDAR for derivation of tree structure. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 141, p. 147–160, 2006.

WANG, Y. et al. Is field-measured tree height as reliable as believed – a comparison study of tree height estimates from field measurement, airborne laser scanning and *Terrestrial Laser Scanning* in a boreal forest. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 147, p. 132–145, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.11.008>.

WEHR, A.; LOHR, U. Airborne laser scanning: an introduction and overview. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 54, n. 2–3, p. 68–82, 1999.

XU, D. et al. LiDAR applications to estimate forest biomass at individual tree scale: opportunities, challenges and future perspectives. **Forests**, Basel, v. 12, n. 5, p. 550, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f12050550>.

ZHAO, C.; ZHU, Y.; MENG, J. Effects of plot design on estimating tree species richness and species diversity. **Forests**, Basel, v. 13, n. 12, p. 2003, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f13122003>.

ZHANG, Y.; THENKABAIL, P. S.; WANG, P. A bibliometric profile of the Remote Sensing open access journal published by MDPI between 2009 and 2018. **Remote Sensing**, Basel, v. 11, n. 1, art. 91, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs>.