Ensaios de Geografia
Essays of Geography | POSGEO-UFF

SEÇÃO ARTIGOS

LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: Uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos

SLAM-Based Mobile Terrestrial LiDAR: A Methodological Framework for Diameter at Breast Height (DBH) Estimation in Urban Forest Fragments

LiDAR Terrestre Móvil Basado en SLAM: Una Propuesta Metodológica para la Estimación del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) en Fragmentos de Bosque Urbano

DOI: https://doi.org/10.22409/2nmca333

Marcel Jesus Dias[1]
Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT),
MT, Brasil
e-mail: marcel.dias@ifmt.edu.br

Érico Fernando Oliveira Martins[2]
Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT),
MT, Brasil
e-mail: profericomartins@unemat.br

Cristiano Poleto[3]
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS),
RS, Brasil
e-mail: cristiano.poleto@ufrgs.br

Francisco Lledo dos Santos[4]
Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT),
MT, Brasil
e-mail: franciscolledo@unemat.br

Henrique Candido de Oliveira[5]
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP),
SP, Brasil
e-mail: hcandido@unicamp.br

Ricardo Leite Dias[6]
Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT),
MT, Brasil
e-mail: dias.ricardo@unemat.br

Rodrigo Bruno Zanin[7]
Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT),
MT, Brasil
e-mail: rodrigo.zanin@unemat.br

[1] Doutorando pela Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal do ABC (UFABC) e professor do Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT).
[2] Doutor em Ciências Cartográficas pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) e professor adjunto da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Professor Permanente do ProfÁgua Unemat.
[3] Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental e professor associado IV do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Prof. Permanente ProfÁgua UFRGS.
[4] Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) e Pós-Doutorando no IPH/UFRGS. Professor Permanente do ProfÁgua Unemat.
[5] Professor Associado da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), onde coordena o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
[6] Engenheiro civil pela Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Mestrando ProfÁgua Unemat.
[7] Doutor em Ciências Cartográficas pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) e professor adjunto da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Professor Permanente do ProfÁgua Unemat.

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

Ensaios de Geografia
Essays of Geography | POSGEO-UFF

Resumo

O uso de tecnologias de Localização e Mapeamento Simultâneos (SLAM) com sensor de Detecção e Alcance por Luz (LiDAR) terrestres móveis têm se apresentado como alternativa promissora para levantamentos florestais, especialmente na estimativa de variáveis dendrométricas como o diâmetro à altura do peito (DAP). Este estudo teve como objetivo avaliar a acurácia das estimativas de DAP obtidas por meio de medições em nuvens de pontos advindas de um sistema LiDAR terrestre móvel baseado em SLAM, utilizando o equipamento Foxtech SLAM 100, em um fragmento florestal urbano no município de Sinop, Mato Grosso. Foram selecionadas nove árvores, distribuídas em três classes diamétricas, cujos valores de DAP estimados a partir da nuvem de pontos foram comparados com medições manuais realizadas em campo. A avaliação foi conduzida por meio do erro médio absoluto (MAE), raiz do erro quadrático médio (RMSE), erro percentual absoluto médio (MAPE), além da análise gráfica da relação entre os métodos. Os resultados indicaram concordância entre as estimativas obtidas por LiDAR e as medições manuais, com MAE de 4,22 cm, RMSE de 4,89 cm e MAPE de 15,43%. Observou-se maior variação dos erros em indivíduos com maior complexidade estrutural, possivelmente associada à oclusão, à distribuição irregular dos pontos no fuste e às condições de aquisição dos dados. Conclui-se que o LiDAR terrestre móvel baseado em SLAM apresenta potencial para estimativa de DAP em inventários florestais de baixo custo e melhor flexibilidade de trabalho em relação aos equipamentos do tipo estacionário, especialmente por permitir levantamentos rápidos e não destrutivos. Entretanto, devido ao número reduzido de árvores avaliadas, os resultados devem ser interpretados como uma análise preliminar, sendo recomendada a ampliação da amostragem em estudos futuros.

Palavras-chave

LiDAR Terrestre; SLAM; Inventário Florestal.

Abstract

The use of Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) technologies combined with mobile terrestrial Light Detection and Ranging (LiDAR) sensors has emerged as a promising alternative for forest surveys, particularly for estimating dendrometric variables such as Diameter at Breast Height (DBH). This study aimed to evaluate the accuracy of DBH estimates obtained from point cloud measurements acquired using a SLAM-based mobile terrestrial LiDAR system (Foxtech SLAM 100) in an urban forest fragment located in Sinop, Mato Grosso, Brazil. Nine trees distributed across three diameter classes were selected, and DBH estimates derived from the point cloud were compared with manual field measurements. Accuracy assessment was performed using the Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and graphical analysis of the relationship between both methods. The results demonstrated agreement between LiDAR-derived estimates and manual measurements, with an MAE of 4.22 cm, an RMSE of 4.89 cm, and a MAPE of 15.43%. Greater error variability was observed in trees with higher structural complexity, possibly due to occlusion effects, irregular point distribution along the stem, and data acquisition conditions. The findings indicate that SLAM-based mobile terrestrial LiDAR is a promising tool for DBH estimation in cost-effective forest inventories, offering greater operational flexibility than stationary terrestrial LiDAR systems by enabling rapid and non-destructive surveys. However, given the limited number of sampled trees, these results should be regarded as preliminary, and further studies with larger sample sizes are recommended.

Keywords

Terrestrial LiDAR; SLAM; Forest Inventory.

Resumen

El uso de tecnologías de Localización y Mapeo Simultáneos (SLAM) combinadas con sensores LiDAR terrestre móvil (Light Detection and Ranging) se ha consolidado como una alternativa prometedora para los inventarios forestales, especialmente en la estimación de variables dendrométricas como el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP). Este estudio tuvo como objetivo evaluar la precisión de las estimaciones de DAP obtenidas mediante mediciones en nubes de puntos generadas por un sistema LiDAR terrestre móvil basado en SLAM, utilizando el equipo Foxtech SLAM 100, en un fragmento de bosque urbano ubicado en el municipio de Sinop, estado de Mato

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

Grosso, Brasil. Se seleccionaron nueve árboles distribuidos en tres clases diamétricas, cuyos valores estimados de DAP a partir de la nube de puntos se compararon con mediciones manuales realizadas en campo. La evaluación se llevó a cabo mediante el Error Absoluto Medio (MAE), la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE), el Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE) y el análisis gráfico de la relación entre ambos métodos. Los resultados mostraron concordancia entre las estimaciones obtenidas mediante LiDAR y las mediciones manuales, con un MAE de 4,22 cm, un RMSE de 4,89 cm y un MAPE de 15,43 %. Se observó una mayor variabilidad de los errores en individuos con mayor complejidad estructural, posiblemente asociada a la oclusión, a la distribución irregular de los puntos sobre el fuste y a las condiciones de adquisición de los datos. Se concluye que el LiDAR terrestre móvil basado en SLAM presenta un alto potencial para la estimación del DAP en inventarios forestales de bajo costo, ofreciendo mayor flexibilidad operativa que los sistemas LiDAR terrestres estacionarios al permitir levantamientos rápidos y no destructivos. No obstante, debido al reducido número de árboles evaluados, los resultados deben interpretarse como preliminares, recomendándose ampliar el tamaño de la muestra en futuras investigaciones.

Palabras clave
LiDAR terrestre; SLAM; Inventario forestal.

Introdução

O diâmetro à altura do peito (DAP), normalmente medido a 1,30 m do solo, é uma das variáveis dendrométricas mais importantes em inventários florestais, sendo amplamente utilizado em estimativas de área basal, volume, biomassa, estoque de carbono e estrutura da vegetação (Machado *et al*., 2025; Sun *et al*., 2025; Wu *et al*., 2024). Tradicionalmente, sua obtenção é realizada por métodos manuais, como fita diamétrica, suta ou fita métrica, os quais apresentam elevada confiabilidade quando corretamente aplicados (Lee; Lee, 2024). Entretanto, esses métodos demandam tempo, mão de obra especializada e podem apresentar limitações operacionais em áreas extensas, de difícil acesso ou com elevada densidade de vegetação (Gollob; Ritter; Nothdurft, 2020).

Nesse contexto, tecnologias de sensoriamento remoto ativo, especialmente o LiDAR (Light Detection and Ranging), têm se consolidado como alternativas para aquisição de informações tridimensionais de ambientes florestais (Guan *et al*., 2024; Teng *et al*., 2023). O LiDAR baseia-se na emissão de pulsos laser e no registro do tempo de retorno do sinal, permitindo estimar distâncias e gerar nuvens de pontos tridimensionais com alta resolução espacial (Wu *et al*., 2024). Em aplicações florestais, essa tecnologia possibilita caracterizar a estrutura vertical e horizontal da vegetação, identificar indivíduos arbóreos e estimar variáveis como altura, DAP, volume de fuste e biomassa acima do solo (Zhou *et al*., 2024; Li *et al*., 2025).

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

Guan *et al*. (2024) e Teng *et al*. (2023) afirmam que o uso de LiDAR terrestre, também conhecido como TLS (Terrestrial Laser Scanning), tem sido amplamente investigado em inventários florestais. Gollob, Ritter e Nothdurft (2020) e Liu *et al*. (2021) destacam o potencial dessa tecnologia para extração automática de parâmetros dendrométricos, incluindo posição das árvores, DAP e altura do fuste, a partir de nuvens de pontos tridimensionais. Posteriormente, algoritmos baseados em ajuste geométrico, segmentação de fustes, modelos cilíndricos e métodos como RANSAC passaram a ser empregados para melhorar a estimativa automática do DAP e de outros atributos estruturais (Machado *et al*., 2025; Proudman; Ramezani; Fallon, 2021; Wu *et al*., 2024).

Revisões sobre o uso de LiDAR terrestre na área florestal destacam que a tecnologia apresenta elevada capacidade para mensuração não destrutiva da vegetação, embora sua acurácia dependa de fatores como densidade de pontos, número de posições de escaneamento, arquitetura das copas, rugosidade do fuste e grau de oclusão no sub-bosque (Wu *et al*., 2024; Sun *et al*., 2025; Lee; Lee, 2024). Mokroš *et al*. (2021) conduziram um estudo comparativo de medida de DAP, e ao comparar o TLS com outras tecnologias móveis e fotogramétricas em inventários florestais, o autor confirmou que o TLS fornece os dados mais precisos e confiáveis, alcançando taxas de detecção de indivíduos entre 90,6% e 100%, e o menor erro (RMSE) nas estimativas do DAP.

Embora sistemas TLS estáticos sejam reconhecidos por sua alta precisão, sua aplicação pode ser limitada pelo tempo de instalação, necessidade de múltiplas posições de escaneamento e maior esforço operacional em campo. Como alternativa, sistemas LiDAR terrestres móveis e portáteis têm ganhado destaque por permitirem levantamentos mais rápidos, com aquisição contínua durante o deslocamento do operador. Esses sistemas geralmente utilizam algoritmos de SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), que permitem estimar simultaneamente a trajetória do sensor e reconstruir o ambiente tridimensional, mesmo em locais com ausência ou limitação de sinal GNSS.

Estudos demonstram o potencial de sistemas móveis baseados em SLAM para inventários florestais. Mokroš *et al*. (2021) ao compararem LiDAR terrestre estático e móvel manual, observaram que sistemas portáteis podem reduzir significativamente o tempo de campo, embora apresentem desafios associados à acurácia posicional e à qualidade da

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

reconstrução dos fustes. De modo semelhante, Gollob, Ritter e Nothdurft (2020) evidenciaram que sistemas de escaneamento a laser associados a SLAM podem gerar informações úteis para inventários, desde que sejam considerados fatores como trajetória de aquisição, fechamento de loops e densidade da nuvem de pontos. Em seus estudos, eles compararam um SLAM móvel com um estático, com o objetivo de avaliar a diferença na taxa de detecção de árvores, precisão do Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e o tempo de coleta de dados, concluindo que o dispositivo móvel foi 4,7 vezes mais rápido e detectou mais árvores devido à redução do efeito de oclusão.

Apesar desses avanços, a aplicação de LiDAR terrestre móvel em ambientes florestais densos ainda apresenta desafios relevantes. A presença de sub-bosque, cipós, arbustos, múltiplos estratos de copa e sobreposição de indivíduos pode dificultar a visada direta ao fuste e reduzir a densidade de pontos na altura de medição do DAP. Além disso, a trajetória de caminhamento, a distância entre sensor e tronco, a velocidade de aquisição e a ocorrência de deriva no algoritmo SLAM podem influenciar a qualidade final da nuvem de pontos (Xie *et al*., 2022; Liu *et al*., 2021; Lee; Lee, 2024). Assim, estudos de validação local são essenciais para avaliar a confiabilidade dessas tecnologias em diferentes condições florestais.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar, em caráter preliminar, a acurácia das estimativas de DAP obtidas em uma nuvem de pontos gerada por um sistema LiDAR terrestre móvel baseado em SLAM. As estimativas foram comparadas com medições manuais realizadas em uma área de preservação permanente no município de Sinop, Mato Grosso, com foco na viabilidade metodológica e na flexibilidade operacional do sistema móvel, sem estabelecer uma análise formal de custos ou superioridade em relação a equipamentos estáticos/estacionários.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi conduzido em uma reserva urbana de preservação permanente denominada R7, localizada no município de Sinop, estado de Mato Grosso, Brasil. As coordenadas centrais da área correspondem, aproximadamente, a 11°51'04"S e 55°30'58"W, equivalentes a -11,8511° e -55,5161° em graus decimais, obtidas a partir da transformação dos dados

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

geoespaciais originalmente no sistema SIRGAS 2000 para o sistema geográfico WGS 84 (EPSG:4326).

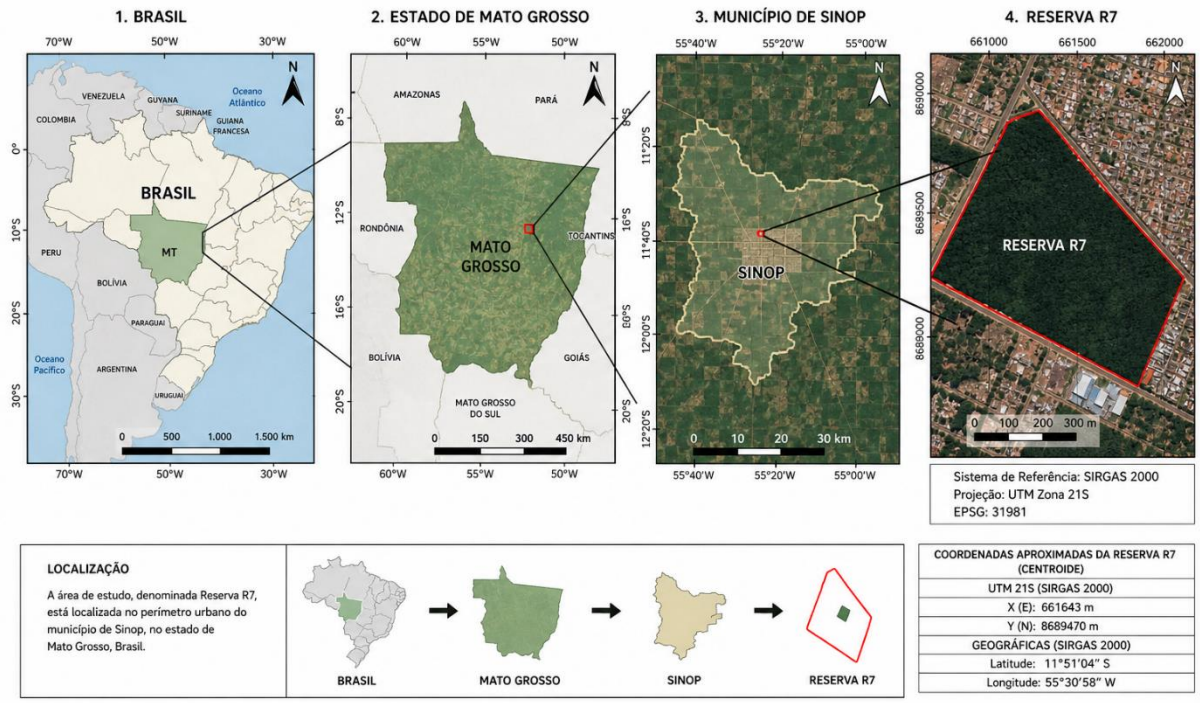
A localização da área de estudo é apresentada na Figura 1, elaborada a partir de bases cartográficas de contexto, com o objetivo de permitir a representação espacial e a visualização multiescalar (Brasil, estado de Mato Grosso, município de Sinop e área da reserva). Os dados geoespaciais foram originalmente processados no sistema de coordenadas projetadas SIRGAS 2000 / UTM zona 21S (EPSG:31981), com unidades em metros, sistema amplamente utilizado em levantamentos topográficos e aplicações geoespaciais no Brasil.

A área analisada corresponde a uma subárea de aproximadamente 7,66 hectares, inserida em um fragmento florestal urbano com área total estimada em cerca de 45 hectares (Figura 1). O fragmento apresenta características de vegetação secundária em estágio intermediário de regeneração, situado em uma região de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado. A estrutura da vegetação é marcada por elevada densidade arbórea, presença de sub-bosque desenvolvido, ocorrência de cipós e significativa sobreposição de copas, resultando em alta complexidade estrutural vertical e horizontal.

Essas características tornam a área particularmente relevante para a avaliação de sensores LiDAR terrestres móveis, uma vez que ambientes com elevada densidade de vegetação e múltiplos estratos estruturais tendem a apresentar maior ocorrência de oclusões, limitação da visada dos fustes e variações na densidade de pontos da nuvem tridimensional, influenciando diretamente a qualidade das estimativas dendrométricas.

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

Figura 1 – Localização da área de estudo em diferentes escalas espaciais.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em imagens do Google Earth, acesso em 2026.

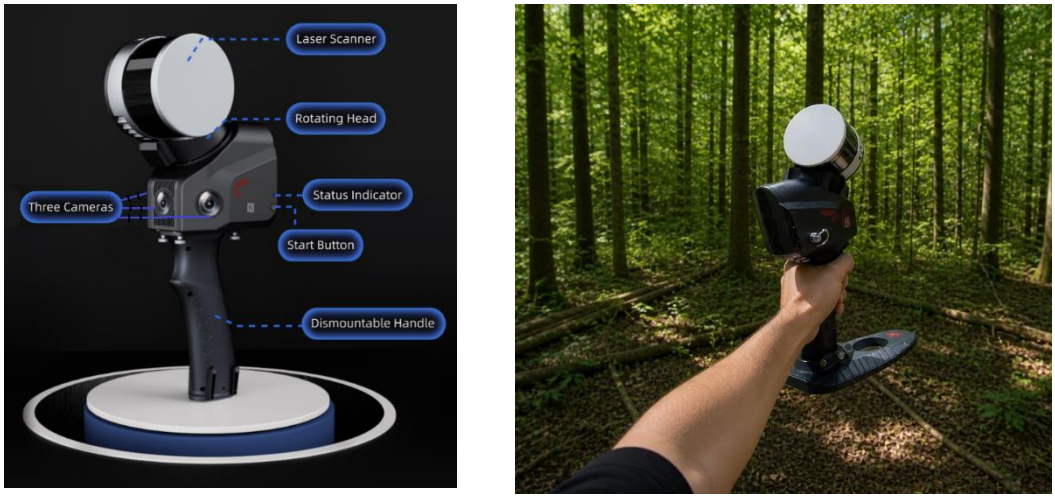
Aquisição da nuvem de pontos com SLAM

A aquisição dos dados foi realizada por meio de um sistema LiDAR terrestre móvel baseado em tecnologia SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), utilizando o equipamento Foxtech SLAM 100 (Figura 2). O levantamento foi conduzido por caminhamento contínuo no interior da área de estudo, buscando contornar os indivíduos arbóreos e registrar os fustes a partir de múltiplos ângulos de visada. Essa estratégia teve como objetivo reduzir os efeitos de oclusão e melhorar a qualidade da reconstrução tridimensional dos troncos.

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

Figura 2 – Foxtech SLAM 100: (a) Apresentação do equipamento e (b) Visão de uso.

(a) **(b)**



Fonte: Adaptado de Feima Robotics. Disponível em: https://www.feimarobotics.com. Acesso em: 27 abr. 2026.

O equipamento utilizado consiste em um scanner portátil com cabeça rotativa de 360° e cobertura de nuvem de pontos de 270° x 360°, alcance de até 120 metros, taxa de aquisição de aproximadamente 320.000 pontos por segundo e taxa de frequência entre 5 e 20 Hz, possibilitando a geração de nuvens de pontos tridimensionais de alta densidade. O sistema integra sensores ópticos e algoritmos de SLAM, permitindo a aquisição de dados em ambientes sem cobertura GNSS e a geração de nuvens de pontos colorizadas para apoio à interpretação visual. Ao final do processamento, foram identificados aproximadamente 885 indivíduos arbóreos na nuvem de pontos resultante.

Processamento da nuvem de pontos

O processamento inicial dos dados LiDAR foi realizado no software PCA (Point Cloud Analyst), utilizando os módulos PCA View e PCA Toolbox, com o objetivo de preparar a nuvem de pontos para extração de métricas dendrométricas. Inicialmente, no módulo PCA View, foi realizado o recorte da área de interesse, isolando a região correspondente ao fragmento florestal analisado (Figura 3a). Essa etapa permitiu reduzir o volume de dados e direcionar o processamento aos indivíduos arbóreos da área selecionada.

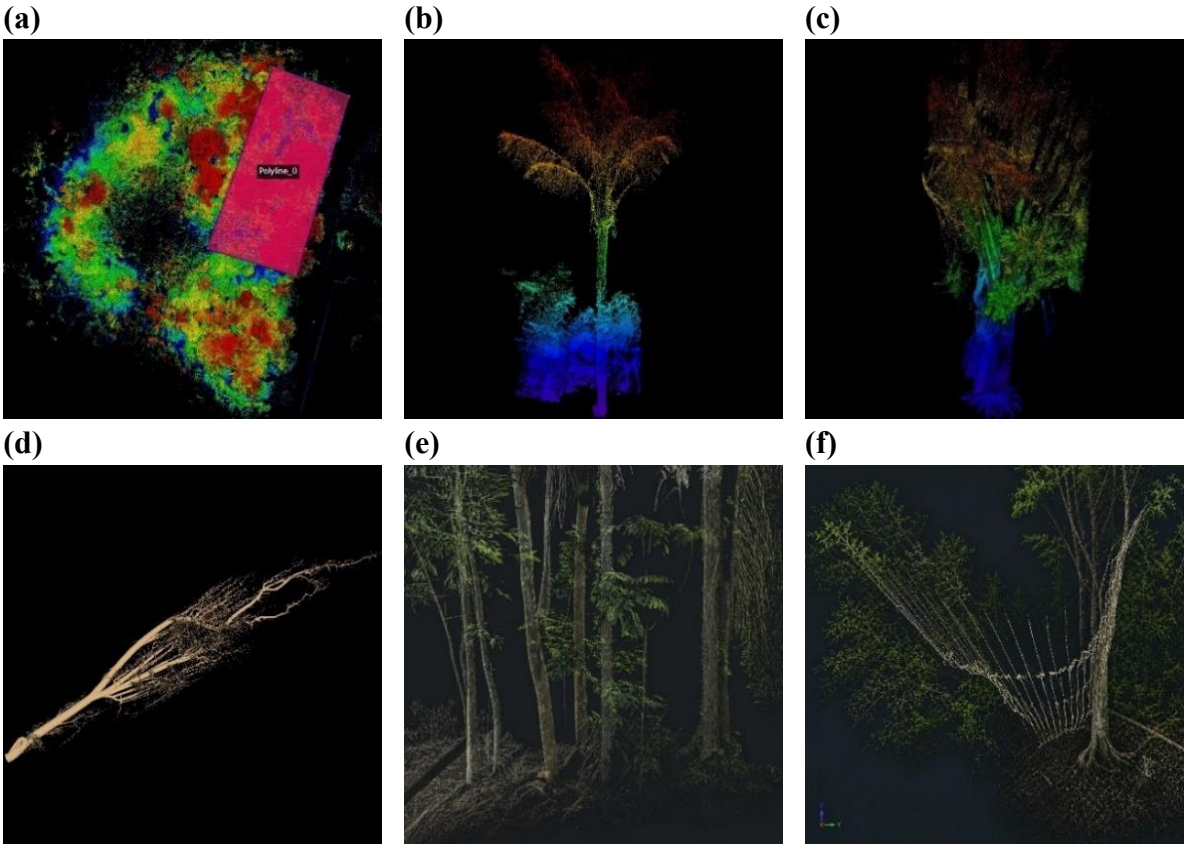
Na sequência, no módulo PCA Toolbox, foram aplicados algoritmos de detecção e segmentação de árvores individuais, baseados em características geométricas e na distribuição

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

espacial da nuvem de pontos. Esse procedimento permitiu separar os indivíduos arbóreos e reconstruir suas estruturas tridimensionais (Figura 3), com destaque para tronco e copa. A partir das árvores segmentadas, foram extraídas métricas dendrométricas, incluindo o DAP, estimado a partir da geometria do tronco na altura padrão de 1,30 m em relação ao solo.

A qualidade das estimativas de DAP está diretamente associada à densidade, distribuição e uniformidade dos pontos na região do fuste, podendo ser afetada por fatores como oclusão, presença de sub-bosque, sobreposição de copas e complexidade estrutural da vegetação.

Figura 3 – Mapeamento 3D com LiDAR: (a) área recorte da nuvem de pontos da coleta com Foxtech SLAM100; (b) e (c) árvores 3D resultantes da nuvem de pontos; (d) estrutura 3D do tronco e galhos; (e) nuvem de pontos frontal de árvores e (f) recorte transversal de uma árvore.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

Seleção das Árvores para Validação

A seleção das árvores utilizadas na validação foi realizada a partir dos dados georreferenciados derivados da nuvem de pontos LiDAR. Os indivíduos foram classificados em três classes diamétricas: pequeno, médio e grande porte, com base nos valores de DAP estimados pelo LiDAR. Para garantir representatividade amostral e reduzir a dependência espacial entre indivíduos, foi desenvolvido um procedimento automatizado em linguagem R para seleção das árvores.

O algoritmo realizou amostragem aleatória dentro de cada classe diamétrica, utilizando uma semente fixa para assegurar a reprodutibilidade do processo. A seleção considerou uma distância entre 10 e 20 metros entre indivíduos. Esse procedimento teve como objetivo evitar a seleção de árvores excessivamente agrupadas, reduzir possíveis efeitos de autocorrelação espacial e facilitar a localização dos indivíduos em campo. Em seguida, foram selecionadas nove árvores, sendo três por classe diamétrica. As coordenadas desses indivíduos foram exportadas para ambiente SIG e para o aplicativo QField, permitindo sua localização durante a etapa de validação em campo.

Validação de Campo

A validação dos dados foi realizada por meio da medição manual da circunferência à altura do peito (CAP) das árvores selecionadas, utilizando fita métrica comum. As medições foram realizadas a 1,30 m do solo. Posteriormente, os valores de CAP foram convertidos para diâmetro à altura do peito DAP pela relação $DAP = CAP / \pi$, considerando $\pi \approx 3{,}1416$. Os valores de DAP obtidos a partir das medições manuais foram utilizados como referência para avaliação da acurácia das estimativas derivadas do LiDAR terrestre.

Análise Estatística

A análise dos dados foi conduzida no ambiente R, avaliando descritivamente a relação entre os valores de DAP estimados pelo LiDAR e aqueles obtidos por medição manual em campo. Foram calculados o erro médio absoluto (MAE), a raiz do erro quadrático médio (RMSE) e o erro percentual absoluto médio (MAPE). Em razão do tamanho amostral reduzido ($n = 9$), não foram realizados testes inferenciais. Assim, as métricas e os gráficos foram interpretados como evidências exploratórias restritas aos indivíduos avaliados.

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

Adicionalmente, foram elaborados gráficos (Figura 4) para avaliar a relação entre DAP estimado pelo LiDAR e DAP medido manualmente, o erro absoluto em função do diâmetro da copa e a distribuição do erro percentual por indivíduo. Essas análises permitiram avaliar o desempenho geral do método e investigar possíveis efeitos da estrutura da vegetação sobre a precisão das estimativas de DAP.

Resultados e Discussão

A comparação entre os valores de DAP estimados na nuvem de pontos e aqueles obtidos por medição manual indicou associação positiva entre os métodos. A proximidade de parte dos pontos em relação à linha 1:1 (Figura 4a) sugere concordância descritiva, embora tenha ocorrido dispersão em alguns indivíduos, sobretudo entre árvores de maior porte ou complexidade estrutural. Como a validação incluiu somente nove árvores, essa evidência gráfica deve ser interpretada como exploratória, sem sustentar inferências sobre o desempenho do sistema em todo o fragmento florestal.

Os indicadores obtidos foram MAE de 4,22 cm, RMSE de 4,89 cm e MAPE de 15,43%. Portanto, as estimativas derivadas do LiDAR diferiram das medições manuais, em média, em pouco mais de 4 cm. O RMSE superior ao MAE indica que erros de maior magnitude exerceram influência adicional sobre o resultado global. Esse efeito é especialmente relevante em uma amostra pequena, na qual uma ou poucas observações podem alterar substancialmente o RMSE e o MAPE. Assim, os valores caracterizam o desempenho observado nas nove árvores avaliadas, e não uma estimativa robusta de acurácia para populações florestais mais amplas.

Em sistemas móveis baseados em SLAM, Gollob, Ritter e Nothdurft (2020) reportaram RMSE de 2,32 cm (12,01%) para escaneamento laser terrestre móvel e de 2,55 cm (13,19%) para TLS estacionário. Os erros observados no presente estudo foram, portanto, superiores a esses valores. Liu *et al*. (2021), utilizando LiDAR móvel, obtiveram, em uma parcela de floresta natural, MAE de 2,50 cm, RMSE de 3,17 cm e MAPE de 11,54%. Já em uma parcela urbana, os valores foram 1,65 cm, 1,97 cm e 6,31%, respectivamente. Em comparação, o MAE, o RMSE e o MAPE deste estudo foram mais elevados, o que pode refletir diferenças na estrutura da vegetação, no protocolo de aquisição, na densidade e distribuição dos pontos no fuste e no procedimento de ajuste geométrico.

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

A influência do percurso de aquisição foi quantificada por Li *et al*. (2025), que avaliaram seis rotas de escaneamento com LiDAR de mochila e encontraram RMSE entre 0,432 e 1,862 cm e RMSE relativo (rRMSE) entre 2,61% e 17,06%, conforme a espécie e a rota. Embora o rRMSE não seja diretamente equivalente ao MAPE empregado neste trabalho, a amplitude reportada demonstra que a configuração da trajetória pode modificar de forma expressiva a qualidade da estimativa. Mokroš *et al*. (2021) também observaram variação entre tecnologias: o TLS apresentou rRMSE de 3,7% a 6,4%, enquanto soluções móveis avaliadas alcançaram faixas de 8,6% a 12,9% e de 13,1% a 24,9%, dependendo do dispositivo. Nesse contexto, o MAPE de 15,43% obtido aqui situa-se dentro da amplitude observada para algumas soluções móveis de menor precisão, mas a diferença entre métricas impede uma equivalência direta.

Para TLS estacionário, Lee e Lee (2024) obtiveram os menores RMSE entre 0,97 e 1,03 cm, dependendo da espécie, do número de posições de escaneamento, do método de ajuste circular e da remoção de ruído. Esses resultados evidenciam a maior estabilidade geométrica que pode ser alcançada com múltiplas posições controladas. Entretanto, comparações entre estudos devem ser feitas com cautela, pois variam o tipo de floresta, o intervalo diamétrico, o número de árvores, o equipamento, a distância de escaneamento, o algoritmo de segmentação e ajuste do fuste e a própria métrica de erro. A comparação quantitativa apresentada, portanto, contextualiza a ordem de grandeza dos erros, mas não constitui teste de superioridade entre plataformas.

A oclusão é uma fonte de erro central no fragmento estudado. Sub-bosque, cipós, ramos e troncos vizinhos podem bloquear parte da seção do fuste a 1,30 m, de modo que o ajuste geométrico se baseie em um arco incompleto e direcionalmente desequilibrado. Nessas condições, pequenos deslocamentos na posição dos pontos podem produzir estimativas circulares ou cilíndricas instáveis. A inspeção gráfica da relação entre diâmetro da copa e erro absoluto (Figura 4b) é compatível com essa hipótese, mas, diante do tamanho amostral, não permite atribuir causalidade nem estimar a intensidade do efeito.

A densidade da nuvem de pontos deve ser considerada conjuntamente com sua distribuição angular. Uma quantidade elevada de pontos concentrada em apenas um lado do tronco não compensa a ausência de observações no lado oposto. A densidade local pode variar com a distância entre sensor e árvore, o ângulo de incidência, a velocidade de caminhamento e

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

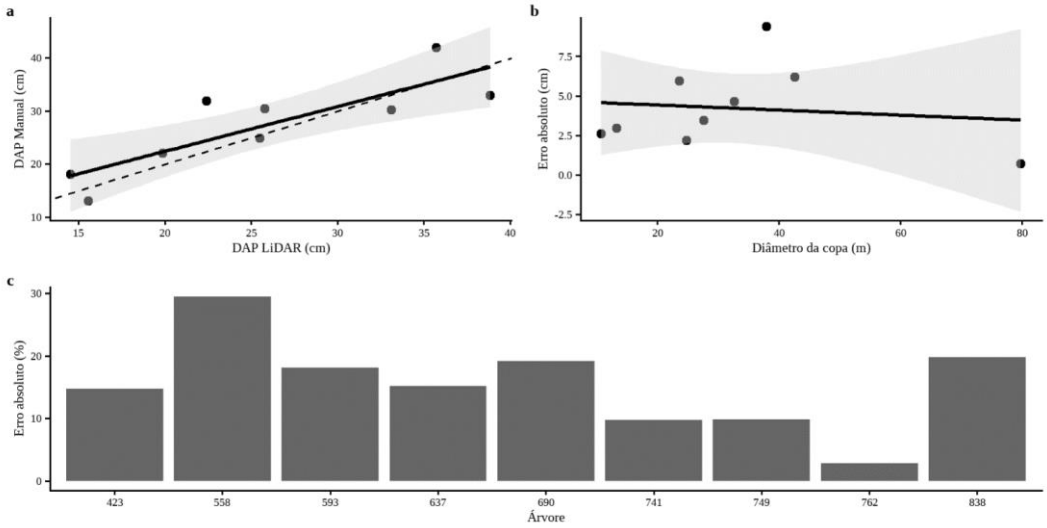
o número de passagens. Como este estudo não quantificou a densidade de pontos por indivíduo na faixa de 1,30 m, não foi possível testar diretamente sua relação com o erro. Essa lacuna constitui uma limitação metodológica que deverá ser superada em futuras validações mediante a quantificação dessa variável.

A geometria real dos troncos também pode explicar parte dos desvios. Seções elípticas ou irregulares, rugosidade da casca, inclinação, bifurcações, sapopemas (raízes tabulares ou de contraforte) e deformações locais violam a hipótese de circularidade adotada por muitos procedimentos de ajuste. Além disso, diferenças milimétricas na altura ou na orientação do plano de corte entre a medição manual e a nuvem de pontos podem resultar em valores distintos, sobretudo em fustes inclinados ou com variação rápida do diâmetro. A distribuição do erro percentual por indivíduo (Figura 4c) reforça a necessidade de registrar essas características de forma padronizada em amostras futuras.

Por fim, a trajetória de aquisição afeta tanto a cobertura do fuste quanto a estabilidade do SLAM. Percursos que contornam as árvores e retornam a locais previamente mapeados favorecem múltiplos ângulos de visada e o fechamento de loops, enquanto trajetórias lineares, velocidade irregular ou longos trechos sem feições geométricas distintivas podem aumentar a deriva e os erros de registro. Embora o caminhamento deste estudo tenha buscado contornar os indivíduos, não foram comparadas rotas alternativas nem quantificados velocidade, distância ao tronco, número de passagens ou erro de fechamento. Esses fatores, somados à amostra de apenas nove árvores (três por classe diamétrica), restringem a robustez estatística e a generalização dos achados. Os resultados devem ser entendidos como evidência preliminar de viabilidade metodológica, a ser confirmada por delineamentos com maior número de indivíduos, espécies, classes diamétricas e condições estruturais.

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

Figura 4 – Avaliação da estimativa de DAP por LiDAR terrestre: (a) relação entre DAP LiDAR e DAP manual; (b) relação entre diâmetro da copa e erro absoluto e (c) Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE) por árvore.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Considerações Finais

A aplicação do LiDAR terrestre móvel baseado em SLAM resultou em MAE de 4,22 cm, RMSE de 4,89 cm e MAPE de 15,43% na estimativa do DAP das nove árvores avaliadas, tomando as medições manuais como referência. A concordância descritiva observada entre os métodos demonstra que o sistema foi capaz de representar as variações de diâmetro dos indivíduos analisados. Os resultados fornecem evidências preliminares favoráveis à viabilidade metodológica da tecnologia, especialmente para levantamentos rápidos, contínuos e não destrutivos em fragmentos florestais urbanos. A mobilidade do equipamento e a possibilidade de adquirir dados tridimensionais a partir de diferentes ângulos também constituem vantagens operacionais relevantes para ambientes de estrutura complexa.

O desempenho observado indica que o método possui potencial para apoiar a obtenção de informações dendrométricas e complementar procedimentos convencionais de inventário florestal. Entretanto, os desvios identificados podem estar relacionados à atuação conjunta da oclusão, da distribuição angular incompleta, da variação na densidade dos pontos, das irregularidades geométricas dos fustes e das características da trajetória de aquisição. Como

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

esses fatores não foram mensurados individualmente, não foi possível determinar a contribuição específica de cada um para os erros. Além disso, o tamanho reduzido da amostra limita a robustez estatística dos resultados. Portanto, os valores obtidos não devem ser generalizados para outras espécies, classes diamétricas ou formações florestais, nem interpretados como evidência de superioridade em relação ao TLS estacionário.

Apesar dessas limitações, o estudo estabelece uma base metodológica para o aprimoramento e a validação do LiDAR terrestre móvel baseado em SLAM em inventários florestais urbanos. Estudos futuros deverão ampliar e estratificar a amostra por espécie, classe diamétrica e complexidade do fuste. Também deverão quantificar a densidade e a cobertura angular dos pontos na altura de 1,30 m, além de registrar variáveis relacionadas à trajetória, como velocidade de deslocamento, distância ao tronco, número de passagens e erro de fechamento. A realização de aquisições repetidas, a apresentação de intervalos de incerteza e a comparação com protocolos padronizados de TLS estacionário permitirão avaliar a repetibilidade, a robustez e os limites de aplicação do método. Com esses avanços, a tecnologia poderá consolidar-se como uma ferramenta complementar eficiente para levantamentos dendrométricos em ambientes florestais urbanos.

Declaração de uso de Inteligência Artificial (IA)

Durante a preparação deste trabalho, os autores utilizaram o ChatGPT (OpenAI), versão GPT-5.5 (2026) como ferramenta de apoio à revisão gramatical, aprimoramento da redação científica, coesão textual e organização da escrita. Após o uso da ferramenta, os autores revisaram e editaram integralmente o manuscrito em conformidade com o método científico e assumem total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — Brasil (CAPES) — Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradecemos ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA) pelo apoio técnico-científico

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

aportado até o momento. Os autores gostariam de agradecer ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT), à Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), ao Laboratório de Informação Espacial (SPINLAB) e ao Laboratório de Análise de Imagens Digitais (LAID) pelo apoio recebido. Além disso, agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT), por meio de bolsa concedida no âmbito do Edital n.º 010/2025 — Doutorado com produto tecnológico, processo FAPEMAT-PRO.0002044/2025.

Referências

GOLLOB, C.; RITTER, T.; NOTHDURFT, A. Forest Inventory with Long Range and High-Speed Personal Laser Scanning (PLS) and Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Technology. **Remote Sensing**, Basel, v. 12, art. 1509, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs12091509. Acesso em: 09 mai. 2026.

GUAN, T.; SHEN, Y.; WANG, Y.; ZHANG, P.; WANG, R.; YAN, F.. Advancing Forest Plot Surveys: A Comparative Study of Visual vs. LiDAR SLAM Technologies. **Forests**, Basel, v. 15, art. 2083, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/f15122083. Acesso em: 22 jun. 2026.

LEE, Y.; LEE, J.. Evaluation of Accuracy in Estimating Diameter at Breast Height Based on the Scanning Conditions of Terrestrial Laser Scanning and Circular Fitting Algorithm. **Forests**, Basel, v. 15, n. 2, art. 313, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/f15020313. Acesso em: 21 mai. 2026.

LI, L.; WEI, L.; LI, N.; ZHANG, S.; HU, M.; MA, J. Impact of Backpack LiDAR Scan Routes on Diameter at Breast Height Estimation in Forests. **Forests**, Basel, v. 16, art. 527, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/f16030527. Acesso em: 11 jul. 2026.

LIU, L.; ZHANG, A.; XIAO, S.; HU, S.; HE, N.; PANG, H.; ZHANG, X.; YANG, S. Single Tree Segmentation and Diameter at Breast Height Estimation With Mobile LiDAR. **IEEE Access**, v. 9, p. 24314–24328, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3056877. Disponível em: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3056877. Acesso em: 10 jul. 2026.

MACHADO, M. D.; DA SILVA, G. F.; DE ALMEIDA, A. Q.; DE MENDONÇA, A. R.; MARTINS-NETO, R. P.; SCHIMALSKI, M. B. Estimating Position, Diameter at Breast Height, and Total Height of Eucalyptus Trees Using Portable Laser Scanning. **Remote Sensing**, v. 17, n. 16, art. 2904, 2025. DOI: 10.3390/rs17162904. Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs17162904. Acesso em: 11 jul. 2026.

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons

MOKROŠ, M.; MIKITA, T.; SINGH, A.; TOMAŠTÍK, J.; CHUDÁ, J.; WĘŻYK, P.; KUŽELKA, K.; SUROVÝ, P.; KLIMÁNEK, M.; ZIĘBA-KULAWIK, K.; BOBROWSKI, R.; LIANG, X. Novel low-cost mobile mapping systems for forest inventories as terrestrial laser scanning alternatives. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 104, art. 102512, 2021. DOI: 10.1016/j.jag.2021.102512. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102512. Acesso em: 10 jul. 2026.

PROUDMAN, A.; RAMEZANI, M.; FALLON, M. Online estimation of diameter at breast height (DBH) of forest trees using a handheld LiDAR. In: **EUROPEAN CONFERENCE ON MOBILE ROBOTS (ECMR)**, 2021. Proceedings. Piscataway: IEEE, 2021. p. 1–7. DOI: 10.1109/ECMR50962.2021.9568814. Disponível em: https://doi.org/10.1109/ECMR50962.2021.9568814. Acesso em: 11 jul. 2026.

SUN, A.; SU, R.; MA, J.; LIN, J. Individual trunk segmentation and diameter at breast height estimation using mobile LiDAR scanning. **Forests**, Basel, v. 16, n. 4, art. 582, 2025. DOI: 10.3390/f16040582. Disponível em: https://doi.org/10.3390/f16040582. Acesso em: 21 jul. 2026.

TENG, P.; ZHANG, Y.; YAMANE, T.; KOGOSHI, M.; YOSHIDA, T.; OTA, T.; NAKAGAWA, J. Accuracy Evaluation and Branch Detection Method of 3D Modeling Using Backpack 3D Lidar SLAM and UAV-SfM for Peach Trees during the Pruning Period in Winter. **Remote Sensing**, Basel, v. 15, n. 2, art. 408, 2023. DOI: 10.3390/rs15020408. Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs15020408. Acesso em: 12 jul. 2026.

WU, Y.; GAN, X.; ZHOU, Y.; YUAN, X. Estimation of Diameter at Breast Height in Tropical Forests Based on Terrestrial Laser Scanning and Shape Diameter Function. **Sustainability**, Basel, v. 16, art. 2275, 2024. DOI: 10.3390/su16062275. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su16062275. Acesso em: 11 jul. 2026.

XIE, Y.; YANG, T.; WANG, X.; CHEN, X.; PANG, S.; HU, J.; WANG, A.; CHEN, L.; SHEN, Z. Applying a Portable Backpack Lidar to Measure and Locate Trees in a Nature Forest Plot: Accuracy and Error Analyses. **Remote Sensing**, Basel, v. 14, art. 1806, 2022. DOI: 10.3390/rs14081806. Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs14081806. Acesso em: 15 jun. 2026.

ZHOU, T.; ZHAO, C.; WINGREN, C. P.; FEI, S.; HABIB, A. Forest feature LiDAR SLAM (F2-LSLAM) for backpack systems. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 212, p. 96–121, 2024. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2024.04.025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2024.04.025. Acesso em: 23 jun. 2026.

AO CITAR ESTE TRABALHO, UTILIZAR A SEGUINTE REFERÊNCIA:
DIAS, Marcel Jesus; MARTINS, Érico Fernando Oliveira; POLETO, Cristiano; SANTOS, Francisco Lledo dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; DIAS, Ricardo Leite; ZANIN, Rodrigo Bruno. LiDAR Terrestre Móvel Baseado em SLAM: uma proposta metodológica para estimativa do DAP em fragmentos florestais urbanos. **Ensaios de Geografia**. Niterói, vol. 13, nº 26, e132616, 2026.
Submissão em: 23/07/2026. Aceito em: 12/09/2026.
ISSN: 2316-8544
Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons