



1º ENCONTRO CATARINENSE DE CARTOGRAFIA

09 Agosto 2024
Florianópolis - SC

Organização



Realização



Apoio



AVALIAÇÃO DA PRECISÃO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT) EM ÁREAS DE POVOAMENTOS COMERCIAIS

MARCHANTE OLÍMPIO ASSURA AMBRÓSIO

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Centro de Ciências Agroveterinárias - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
E-mail: marchanteolimpioassura@gmail.com

VERALDO LIESENBERG

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Centro de Ciências Agroveterinárias - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
E-mail: veraldo.liesenberg@udesc.br

MARCOS BENEDITO SCHIMALSKI

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Centro de Ciências Agroveterinárias - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
E-mail: marcos.schimalski@udesc.br

RAFAEL GERBER NEVES

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Centro de Ciências Agroveterinárias - Graduação em Engenharia Florestal
E-mail: rafael.neves@edu.udesc.br

Resumo: Este estudo avaliou a precisão do Modelo Digital de Terreno (MDT) em áreas de florestas comerciais de *Pinus elliotti* Engelm. e *Pinus taeda* L. usando medições de campo, LIDAR e dados fotogramétricos do SIGSC em Campo Belo do Sul (SC). O objetivo foi analisar os modelos digitais de terreno (MDT) advindos do LIDAR e do SIGSC como preditores do relevo mensurado em campo para dois talhões. No Talhão I, elevações máximas/mínimas foram: campo (981,69/971,24 m), LIDAR (973,62/961,62 m), SIGSC (968,96/955,33 m). No Talhão II: campo (986,48/968,44 m), LIDAR (995,73/976,12 m), SIGSC (979,36/958,64 m). O LIDAR mostrou maior precisão, com R^2 de 0,985 e RMSE de 0,144 m, enquanto o SIGSC apresentou variações maiores. Histogramas do LIDAR e campo se aproximam de uma distribuição normal, enquanto o SIGSC mostra uma distribuição multimodal. O LIDAR também apresentou menor variabilidade e menos outliers, reforçando sua superioridade para medir elevações em áreas florestais comerciais.

Palavras-chave: Modelo Digital de Terreno; Povoamentos Comerciais

Área de intervenção: 1. Planejamento e gestão, 2. Educação, 3. Meio ambiente.



1º ENCONTRO CATARINENSE DE CARTOGRAFIA

09 Agosto 2024
Florianópolis - SC

Organização



Realização



Apoio



1. INTRODUÇÃO

O Modelo Digital de Terreno (MDT) é essencial para a gestão de áreas florestais comerciais, oferecendo informações detalhadas sobre o relevo e o solo, fundamentais para o manejo sustentável e otimização de recursos (ZHANG *et al.*, 2021). Tecnologias como LIDAR ou perfilamento LASER melhoram a precisão dos MDTs (JIN *et al.*, 2020). A análise das relações entre as medições de campo e dados extraídos a partir de dados LIDAR e do SIGSC é crucial para avaliar eventuais diferenças entre MDTs (JASKIERNIAK *et al.*, 2019; ZAHNER *et al.*, 2020).

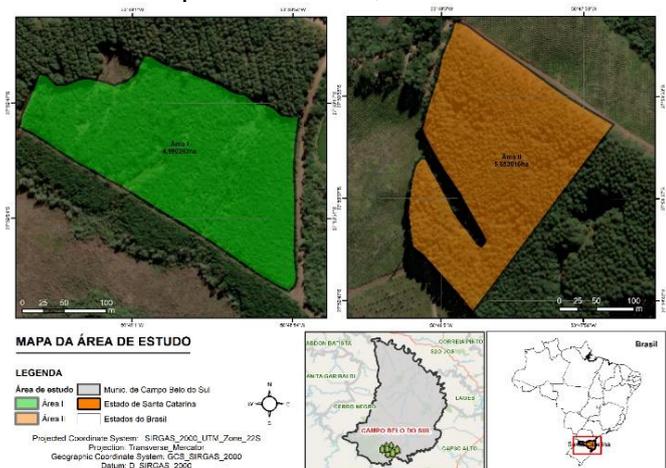
Este estudo visa avaliar a precisão dos MDTs gerados, destacando variáveis eficazes na explicação da variabilidade topográfica, contribuindo para a melhoria das práticas de modelagem de terrenos em ambientes florestais.

2. CORPO DO TRABALHO

2.1. Descrição e Localização da área de estudo

O estudo foi realizado em dois talhões no município de Campo Belo do Sul, estado de Santa Catarina. Os talhões I (*Pinus elliotti* Engelm.) e II (*Pinus taeda* L.), com idades compreendidas de 6 e 40 anos, respectivamente. Possui altitude ortométrica média em torno de 1.017 m e enquadra-se nos paralelos 27°59'38.22" e 27°59'44.48"S e meridianos 50°49'11.61" e 50°47'50.30"W (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de estudo, Campo Belo do Sul, SC.



Fonte: Autores (2024).

A implementação da pesquisa envolveu a coleta de dados de campo e a aquisição de dados de LIDAR com aeronave remotamente pilotada (ARP) e SIGSC



1º ENCONTRO CATARINENSE DE CARTOGRAFIA

09 Agosto 2024
Florianópolis - SC

Organização



Realização



Apoio



em povoamentos florestais. A medição de campo foi realizada utilizando equipamentos de topografia (estação total Leica TS 02) e receptores de sinais GNSS (Global Navigation Satellite System) de dupla frequência (Leica GS 15) para garantir a exatidão dos dados de referência. Paralelamente, os dados LIDAR foram coletados utilizando um ARP, que proporciona uma alta densidade de pontos e uma representação detalhada da superfície da cobertura da terra e do terreno (ZAHNER *et al.*, 2020). Os dados fotogramétricos foram obtidos no site <https://sigsc.sc.gov.br/>, integrando informações sobre a topografia (JIN *et al.*, 2020).

A análise dos dados envolveu a utilização de aplicativos especializados em processamento e análise de dados geoespaciais, como ArcMap v10.8 e RStudio. O processamento dos dados LIDAR incluiu a filtragem e classificação dos pontos para separar o solo de outras superfícies, como vegetação e edificações, utilizando algoritmos de classificação automática (ZHANG *et al.*, 2021). Os dados de campo foram usados como referência para avaliar a precisão dos modelos digitais gerados. As relações entre as variáveis foram analisadas estatisticamente para determinar a correlação e a significância dos dados coletados (JIN *et al.*, 2020). A coordenação do estudo envolveu uma equipe multidisciplinar composta por especialistas em Sensoriamento Remoto e Geotecnologias, cientistas florestais e analistas de dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os mapas apresentados mostram MDTs para as duas áreas (Talhão I e II) usando três métodos de coleta de dados: em campo, LIDAR e SIGSC (Figura 2). No Talhão I, as elevações máximas e mínimas são: em campo (981,69 e 971,24 m), Lidar (973,62 e 961,62 m) e SIGSC (968,96 e 955,33 m). No Talhão II, as elevações são: em campo (986,48 e 968,44 m), Lidar (995,73 e 976,12 m) e SIGSC (979,36 e 958,638 m). Observa-se que o Lidar captura detalhes com maior precisão, mostrando maior variação nas elevações. O método em campo, baseado em medições diretas, tem variações menores, enquanto o SIGSC obtidos por processamento de dados fotogramétricos, apresentando variações intermediárias.



1º ENCONTRO CATARINENSE DE CARTOGRAFIA

09 Agosto 2024
Florianópolis - SC

Organização



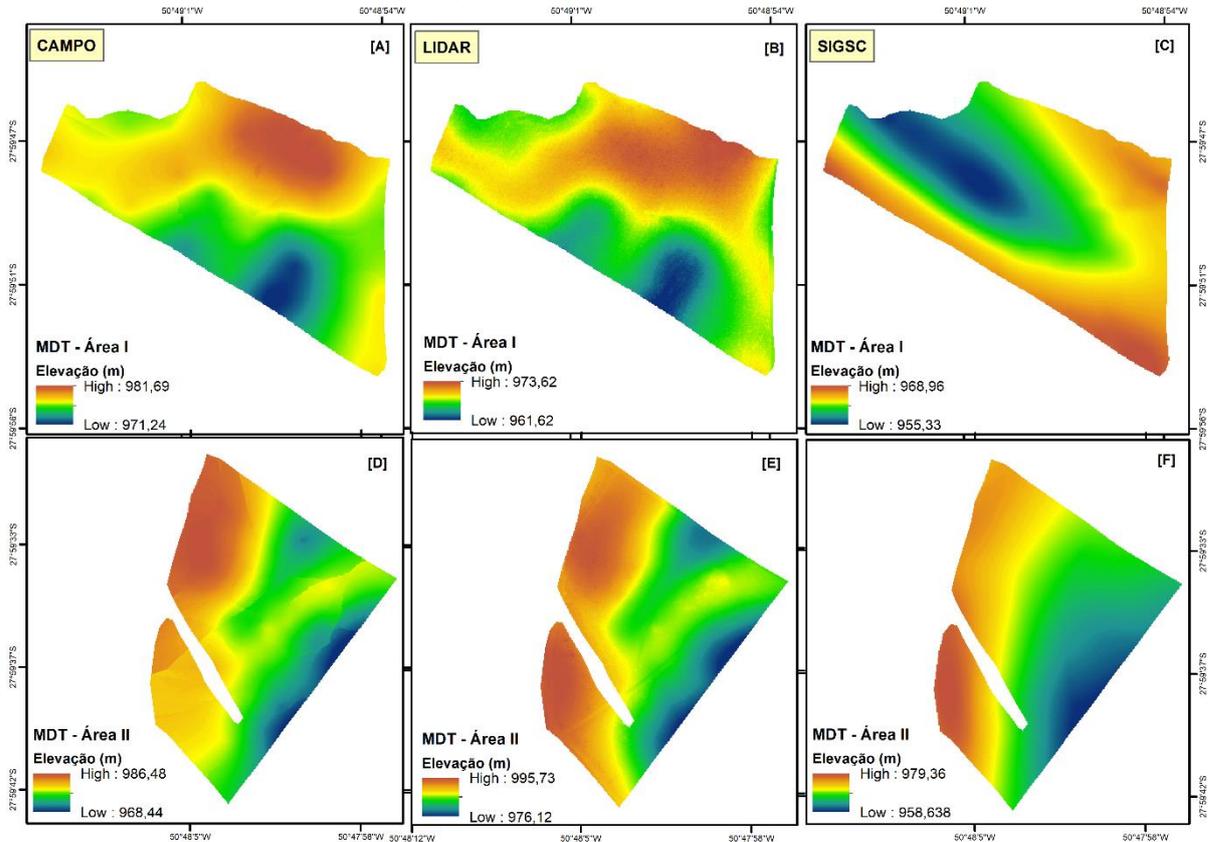
Realização



Apoio



Figura 2 – Representação dos MDT nos dois talhões. a. Campo talhão I; b. LiDAR talhão I; c. SIGSC talhão I; d. Campo talhão II; e. LiDAR talhão II; f. SIGSC talhão II.



Fonte: Autores (2024).

Os resultados dos MDT obtidos através de levantamento de campo, LIDAR e SIGSC mostram variações significativas na precisão e resolução espacial dos dados de elevação. Estudos científicos corroboram esses achados, destacando a superioridade do Lidar. Reutebuch *et al.* (2020), concluíram que o Lidar oferece precisão superior em terrenos variados, superando métodos tradicionais e fotogramétricos. Evans *et al.* (2019), avaliaram a variabilidade topográfica e a densidade de amostragem do Lidar em vários métodos de interpolação de MDTs, destacando sua capacidade de capturar detalhes topográficos. Essas comparações sublinham a eficácia dos dados obtidos por varredura a Laser na captura de dados



1º ENCONTRO CATARINENSE DE CARTOGRAFIA

09 Agosto 2024
Florianópolis - SC

Organização



Realização



Apoio



detalhados de elevação, superando outras técnicas de amostragem para a interpolação de MDT.

A análise dos histogramas revela que os dados LIDAR e de campo apresentam distribuições que se aproximam mais de uma distribuição normal, com maior simetria e formato de sino. Em contraste, o histograma dos dados SIGSC é multimodal, indicando irregularidade na distribuição das elevações. No *boxplot*, a mediana dos dados de campo é ligeiramente mais alta (977,20 e 977,99 m) que a do LIDAR (967,81 e 986,04 m) e significativamente mais alta que a do SIGSC (964,11 e 965,04 m), (Figura 3a e 3b), respectivamente. O intervalo entre Quartis (IQR) dos dados de campo é mais amplo, sugerindo maior dispersão e variabilidade, com alguns *outliers* indicando possíveis erros de medição. Os dados LIDAR mostram menor variabilidade e maior consistência, com um IQR estreito e menos outliers. Os modelos derivados dos dados SIGSC apresentam maior dispersão e variabilidade, sugerindo sensibilidade a variações ambientais ou de medição.



1º ENCONTRO CATARINENSE DE CARTOGRAFIA

09 Agosto 2024
Florianópolis - SC

Organização



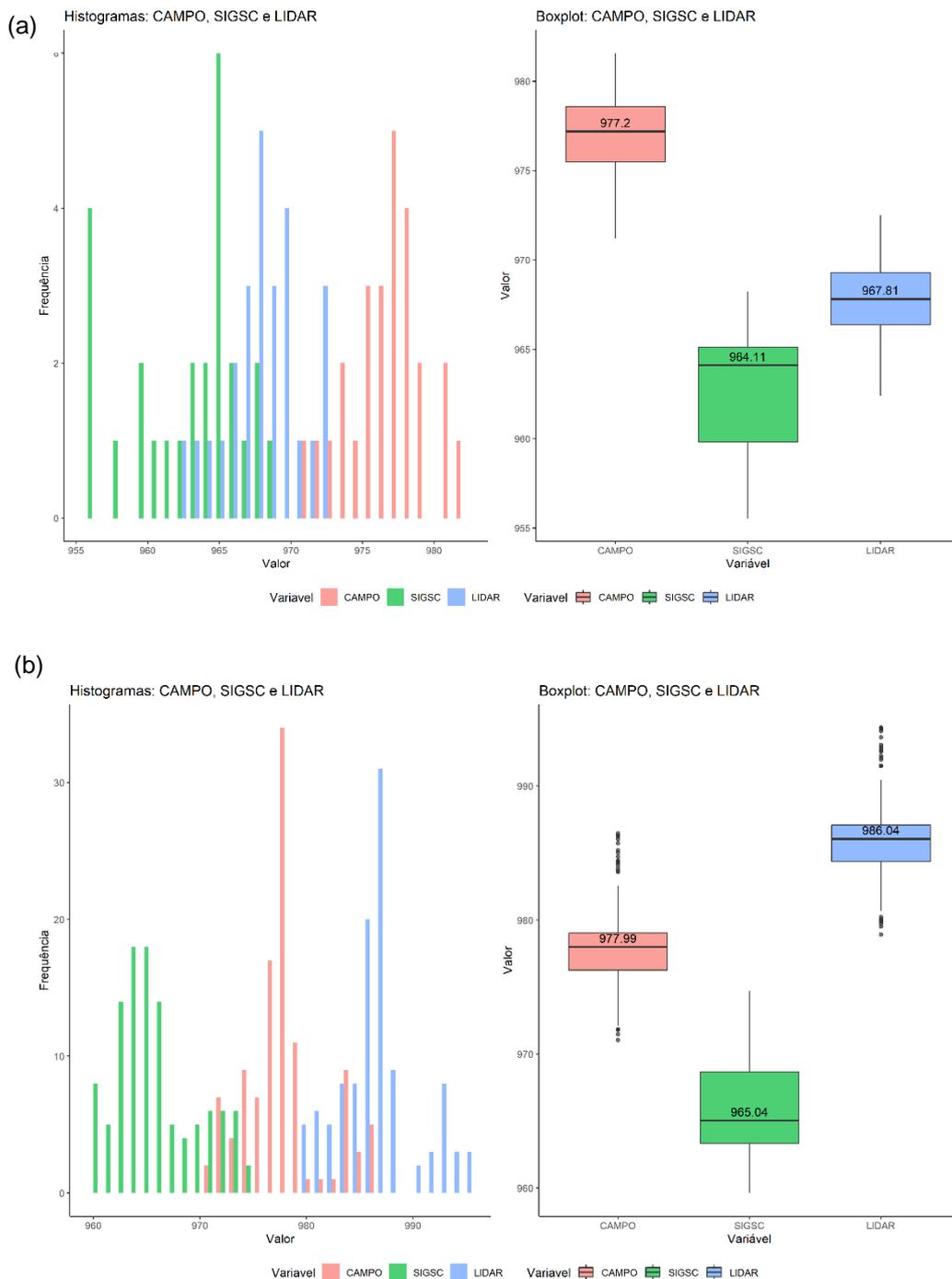
Realização



Apoio



Figura 3 – Histogramas e Boxplots da variável altitude, comparação de CAMPO, SIGSC e LIDAR. Talhão I (a) e Talhão II (b).



Fonte: Autores (2024).



1º ENCONTRO CATARINENSE DE CARTOGRAFIA

09 Agosto 2024
Florianópolis - SC

Organização



Realização



Apoio



Os gráficos confirmam que o método LIDAR tende a capturar uma gama mais ampla e precisa de elevações em comparação com os métodos em campo e SIGSC. A interpolação obtida pelas mensurações em campo apresenta uma menor variação nas elevações, enquanto o SIGSC mostra variações intermediárias. Esses resultados corroboram estudos científicos, como os de Evans *et al.* (2019), Reutebuch *et al.* (2020) e Anderson *et al.* (2020), que destacam a superioridade do LIDAR em termos de precisão e detalhamento na captura de dados topográficos.

Os gráficos de dispersão e de resíduos avaliam a precisão dos MDTs em povoamentos comerciais, comparando medições de campo, SIGSC e LIDAR. Para campo vs. SIGSC, o coeficiente de determinação (R^2) é 0,016 e 0,755, com RMSE de 3,809 e 1,896 m, respectivamente, sugerindo boa correlação, mas alta variabilidade nos resíduos. Em campo vs. LIDAR, a correlação é quase perfeita ($R^2=0,985$ e 0,998) e RMSE muito baixo (0,318 e 0,144 m), confirmando a alta precisão do LIDAR. Para SIGSC vs. LIDAR, o R^2 é 0,023 e 0,759, com RMSE de 3,796 e 1,881 m, indicando maior erro no SIGSC (Figura 4a e 4b, respectivamente). A análise dos resíduos mostra menor variabilidade e maior precisão para LIDAR em comparação com SIGSC, que apresenta dispersão e outliers significativos, necessitando refinamento do modelo. Portanto, o LIDAR se mostrou mais eficaz para medir elevações em terrenos florestais.

A baixa correlação verificada no talhão I, deve-se provavelmente aos dados do SIGSC coincidirem com o período em que havia árvores de maiores dimensões (2012) e o Campo e LIDAR foi feito após o corte dos mesmos e implantação de um novo povoamento (2023).



1º ENCONTRO CATARINENSE DE CARTOGRAFIA

09 Agosto 2024
Florianópolis - SC

Organização



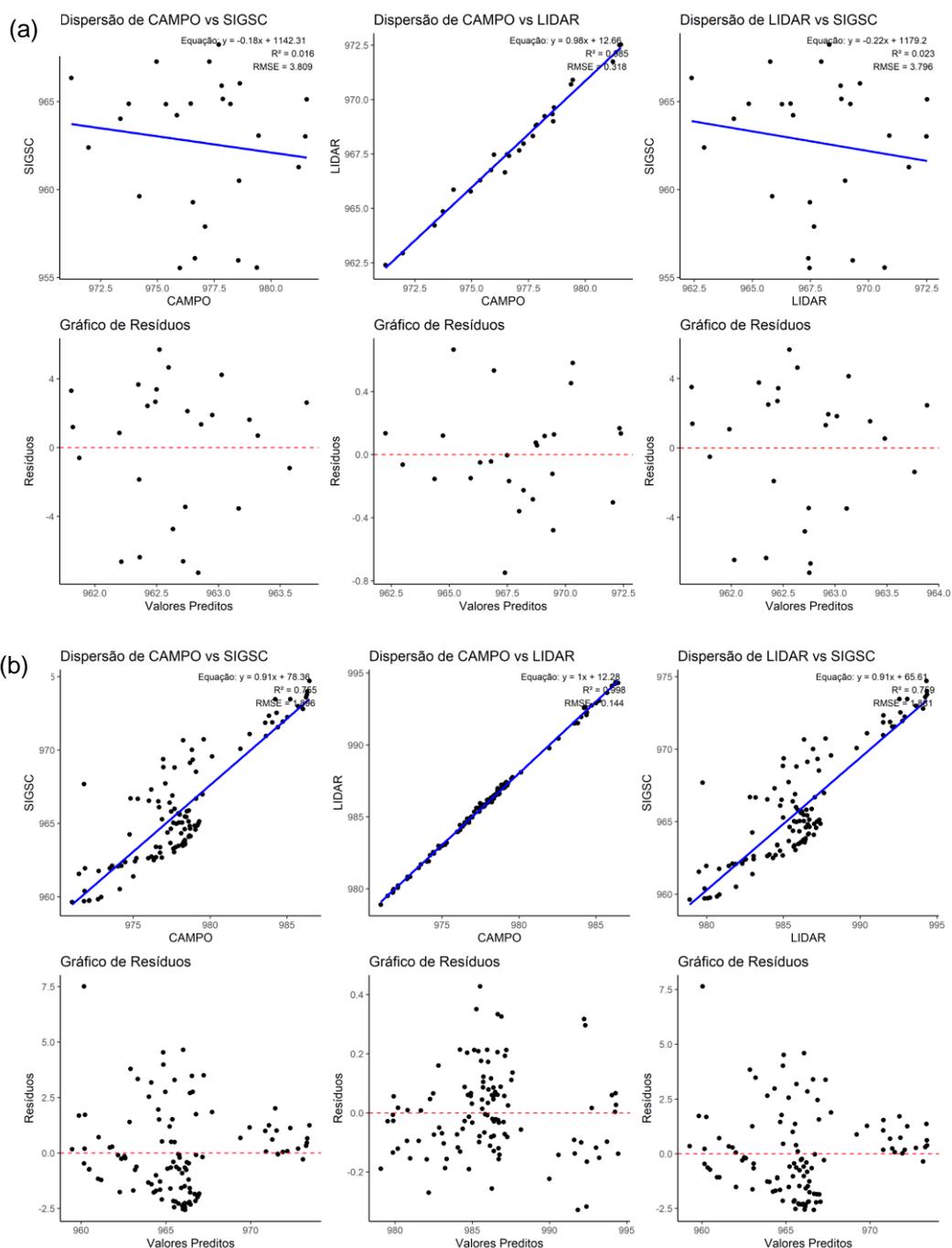
Realização



Apoio



Figura 4 – Gráficos de dispersão e distribuição de resíduos, comparação de CAMPO, SIGSC e LIDAR. Talhão I (a) e Talhão II (b).



Fonte: Autores (2024).



1º ENCONTRO CATARINENSE DE CARTOGRAFIA

09 Agosto 2024
Florianópolis - SC

Organização



Realização



Apoio



Gráficos de resíduos mostram que modelos derivados de dados LIDAR têm maior precisão do que aqueles baseados no SIGSC que foram gerados a partir de aerorestituição fotogramétrica (CHEN *et al.*, 2020). Balenović *et al.* (2021), destacam a importância do LIDAR em obter MDTs precisos em vegetação densa, devido à sua capacidade de penetrar o dossel florestal, o que não ocorre com fotografias convencionais.

4. CONCLUSÃO

A análise comparativa entre dados destaca a importância de usar dados LIDAR como os melhores preditores da topografia em áreas florestais comerciais, superando os dados fotogramétricos em termos de precisão preditiva. No entanto, os dados de SIGSC ainda são considerados robustos e confiáveis, especialmente onde os dados LIDAR podem estar indisponíveis.

5. AGRADECIMENTOS

A Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Centro de Ciências Agroveterinárias - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Florestal Gateados Ltda e Canoinhas Geoassessoria, os quais deram suporte ao desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- Anderson, K., Ryan, B., Sonntag, W., Kavats, N., & Hancock, S. (2020). Exploring the impact of vegetation structure on airborne LiDAR-derived DEMs in heterogeneous forests. **Remote Sensing of Environment**, 238, 110869. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.110869>.
- Balenović, I., Stereńczak, K., & Vuletić, D. (2021). Airborne LiDAR-based estimates of forest inventory attributes in heterogeneous lowland oak forests: Effects of plot size. **Forests**, 12(1), 94. <https://doi.org/10.3390/f12010094>.
- Chen, Q., Zeng, Y., Zhu, L., Shu, T., & Tang, P. (2020). Comparison of photogrammetric point clouds and LiDAR point clouds for estimating forest structural



1° ENCONTRO CATARINENSE DE CARTOGRAFIA

09 Agosto 2024
Florianópolis - SC

Organização



Realização



Apoio



attributes in subtropical planted forests. **Forests**, 11(5), 575. <https://doi.org/10.3390/f11050575>.

Evans, J. S., Hudak, A. T., Faux, R., & Smith, A. M. S. (2019). Discrete return lidar in natural resources: Recommendations for project planning, data processing, and deliverables. **Remote Sensing**, 11(10), 1233. <https://doi.org/10.3390/rs11101233>.

Jaskierniak, D., Armston, J., Phinn, S., & Lucas, R. (2019). Estimating forest aboveground biomass using small-footprint LiDAR: Impact of model choice and field plot design. **Remote Sensing of Environment**, 233, 111377. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111377>.

Jin, X., Tang, Y., & Zhang, L. (2020). "Comparison of LIDAR and photogrammetry-based methods for vegetation height estimation in forested areas." **Remote Sensing**, 12(13), 2085. <https://doi.org/10.3390/rs12132085>

Reutebuch, S. E., McGaughey, R. J., Andersen, H. E., & Carson, W. W. (2020). Accuracy of a high-resolution lidar terrain model under a conifer forest canopy. **Canadian Journal of Remote Sensing**, 46(1), 37-52. <https://doi.org/10.1080/07038992.2020.1717921>.

Zahner, V., Georgi, L., Will, H., & Schönauer, D. (2020). Comparison of LiDAR-based and field-based forest inventory: A case study in a mixed mountain forest in Germany. **Forests**, 11(3), 297. <https://doi.org/10.3390/f11030297>.

Zhang, K., Wang, L., & Chen, S. (2021). "Improving terrain model accuracy using LIDAR data and deep learning techniques." **Journal of Spatial Science**, 66(2), 239-255. <https://doi.org/10.1080/14498596.2021.1881234>.