



Determinação de altura em *Pinus taeda* L. utilizando veículo aéreo não tripulado

Gustavo Gomes RIBEIRO¹, Vagner Alex PESCK^{1*}, Fernando Luís DLUGOSZ¹,
Thiago Floriani STEKPA², Ismael KONKOLL¹, Gerson dos Santos LISBOA³

¹Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati, PR, Brasil.

²Centro Agroveterinário, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil.

³Instituto de Humanidades, Artes e Ciências do Campus Jorge Amado, Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, BA, Brasil.

*E-mail: vapesck@unicentro.br

Recebido em agosto/2018; Aceito em outubro/2018.

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo determinar a altura total, de 30 árvores em um plantio de *Pinus taeda*, com apoio de tecnologias de geoprocessamento. Obteve-se a alturas por meio de aerolevantamento e também com o método convencional (com hipsômetro), avaliando estatisticamente os resultados. Foram adquiridas imagens com Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), utilizando pontos de controle, que serviram para a relação das coordenadas da imagem com as do terreno. A geração do Modelo Digital do Terreno (MDT), foi realizada por meio de topografia convencional, fornecendo dados para a planialtimetria local, ao longo do alinhamento do plantio. Para obtenção das alturas, aplicou-se a subtração entre as altitudes do MDS e do MDT, sendo consideradas como tratamento 1. Com hipsômetro, foram mensuradas as alturas das mesmas árvores, sendo consideradas como tratamento 2 e posteriormente foi aplicado teste t, para a comparação entre as médias, usando significância estatística de 5% de probabilidade. Foi observada a diferença média de 4,05%, entre tratamentos, fato que orienta a viabilidade da metodologia através do uso de imagens obtidas por ARP, havendo diferença estatística significativa entre diferentes formas de obtenção dos dados. Porém, verificou-se a maior precisão e menor dispersão, naqueles dados coletados com metodologia apoiada por imagem, sendo necessário destacar que o hipsômetro, é um método indireto de medição, que apresenta sub ou superestimado das alturas.

Palavras-chave: aerolevantamento; mensuração florestal; modelo digital de terreno; modelo digital de superfície.

Determination of height in *Pinus taeda* L. using unconscious air vehicle

ABSTRACT: The objective of this work was to determine the total height of 30 trees in a plantation of *Pinus taeda*, with the support of geoprocessing technologies. Height was obtained by means of aerial survey and also with the conventional method (with hypsometer), statistically evaluating the results. Images were obtained with Remotely Pilot Aircraft (ARP), using control points, which served to relate the coordinates of the image with those of the terrain. The generation of the Digital Terrain Model (TDM) was performed by means of conventional topography, providing data for local planialtimetry along the alignment of the plantation. In order to obtain the heights, the subtraction was applied between the MDS and MDT altitudes, being considered as treatment 1. With a hypsometer, the heights of the same trees were measured, being considered as treatment 2 and later t-test was applied for the comparison between means, using statistical significance of 5% probability. The mean difference of 4.05% between treatments was observed. This fact guides the viability of the methodology through the use of ARP images, and there is a statistically significant difference between different ways of obtaining the data. However, it was verified the greater precision and less dispersion, in those data collected with methodology supported by image, being necessary to emphasize that the hypsometer, is an indirect method of measurement, that presents sub or overestimated of the heights.

Keywords: aerial survey, forest mensuration, digital terrain model, digital surface model.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao avanço tecnológico ocorrido nas últimas décadas, o uso de veículos aéreos não tripulados (VANT's) vem crescendo, por apresentarem vantagens técnicas e econômicas como resolução temporal e espacial diferenciada, excelência em imageamentos, rapidez na aquisição dos dados, redução do tempo e custos operacionais, consistência na trajetória de voo e na aquisição de imagens (WATTS et al., 2010).

Os principais produtos gerados por meio do aerolevantamento realizado por VANT's, são os Modelos

Digitais de Superfície (MDS), Modelos Digitais do Terreno (MDT) e as ortofotos. O MDS é um modelo que armazena pontos sobre objetos que estão sobre a superfície do terreno, tais como árvores e edificações (HAALA, 1999) e o MDT armazena apenas pontos das altitudes da superfície do terreno, representando a variação do relevo (BURROUGH, 1989).

Em relação ao MDS gerado com base em imagens coletadas por VANT's, comparados com o SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), apresentam a vantagem de maior resolução espacial, permitindo assim que sua utilização para modelagem 3D e o entendimento de certas relações que

ocorrem na paisagem, sejam mais detalhadas (ISIOYE; JOBIN, 2012). Outro diferencial é a resolução temporal, pois permite a escolha do período para visitas e revisitas na área, possibilitando melhor acompanhamento dos alvos ao longo do tempo (FIGUEIRA; OLIVEIRA, 2013).

Em função dessas vantagens, novas abordagens estão sendo empregadas em estudos em diferentes áreas, como para obtenções de dados qualitativos e quantitativos da floresta. Um exemplo a ser citado compreende a adoção de novas tecnologias e técnicas de sensoriamento remoto para o inventário florestal, permitindo a geração de estimativas de alta precisão do volume da madeira em áreas de plantios florestais. Conforme comentado por Andrade (2013), enquanto as técnicas convencionais fornecem estimativas volumétricas precisas para grandes áreas, por exemplo, estratos ou conjuntos de talhões, as técnicas mais desenvolvidas apoiadas por geoprocessamento, permitem gerar dados que representam a heterogeneidade interna do talhão, fator que possibilita maior apoio na tomada de decisão no manejo florestal, garantindo a máxima produção e consequentemente o melhor retorno financeiro.

Defries (2008), destacou a importância dos dados adquiridos por meio de sensores ópticos, que são de considerável importância para o monitoramento e análise da vegetação. Porém, é necessária a interação entre os dados obtidos por meio de imageamentos com os dados reais, que são obtidos através dos inventários florestais.

Segundo Hentz et al. (2018), o método de contagem automatizada de indivíduos e cálculo de área de copa por hectare, com uso de fotografias aéreas obtidas por VANTs, demonstrou alto potencial para a obtenção rápida e precisa em estimativas dos parâmetros dendrométricos, além de servir de ferramenta para a tomada de decisão das práticas silviculturais e em inventários florestais, podendo servir de subsídio para relações com diâmetro à altura do peito (dap) e geração de informações volumétricas de talhões florestais.

As metodologias convencionais demandam elevado tempo de execução da atividade, acrescido da necessidade de melhorar a acurácia dos dados. Para tanto, a busca constante por novas metodologias vem sendo crescente, de modo a alcançar rapidez, elevada acurácia dos dados somado à redução de custos na obtenção e processamento dos dados.

A presente pesquisa teve como objetivo determinar a variável dendrométrica altura total (ht), em um plantio florestal de *Pinus taeda* L., auxiliada por técnicas de geoprocessamento. De forma específica, foi proposto obter as alturas das árvores por meio de imagens geradas por VANT, comparar métodos por sensoriamento remoto com o convencional utilizando hipsômetro e avaliar estatisticamente os resultados obtidos entre os dois métodos de mensuração.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área localiza-se na Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO), no município de Irati, PR (Figura 1), situado a aproximadamente 150 quilômetros da capital paranaense. O trabalho foi desenvolvido em um talhão com área de 1,71 hectares e com 15 anos de idade, em um alinhamento que possui 30 indivíduos. Para facilitar a compreensão da metodologia empregada, foi elaborado um fluxograma das atividades realizadas (Figura 2).

Nesta pesquisa, foram utilizados seis pontos de controle (*GROUND CONTROL POINTS* - GCPs), distribuídos de

forma aleatória (Figura 3), que serviram para fazer a relação entre o sistema de coordenadas da imagem com as coordenadas do terreno, melhorando assim, a precisão espacial dos produtos gerados.

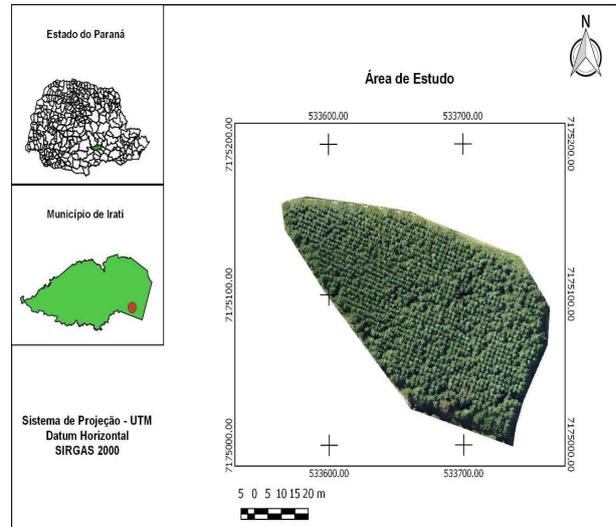


Figura 1. Município de Irati, localização do talhão e área de estudo.

Figure 1. Municipality of Irati, location of the plot and study area.



Figura 2. Fluxograma de atividades.

Figure 2. Activity flowchart.



Figura 3. Distribuição dos pontos do controle (GCPs) para correção da imagem.

Figure 3. Distribution of control points (GCPs) for image correction.

Tendo a necessidade da utilização dos GCPs como pontos de apoio contendo valores de coordenadas de posicionamento, fez-se o uso de um par de receptores GNSS, modelo GS15, para a obtenção desses valores, sendo um receptor base (fixo) instalado em um ponto de referência próximo a área de estudo e um rover (móvel) sobre os pontos de controle.

O VANT utilizado para o levantamento aerofotogramétrico é o modelo eBee, com câmera S.O.D.A. (*Sensor Optimised for Drone Application*), que obtém imagens na composição RGB (*Red, Green and Blue*), ambos fabricados pela *SenseFly*. A câmera possui uma resolução de 16MP, com sensor de 6,2 mm x 4,6 mm (4608 x 3456 pixels) e 4,37 mm de distância focal, sendo compacta e extremamente leve, possuindo proteção contra poeira e impactos no pouso, capaz de gerar imagens com elevada qualidade. O voo foi realizado a 212 metros de altura acima do solo, fornecendo a resolução espacial de 6 cm/ pixel. Durante o mesmo, foram obtidas 199 fotos sobre a área de estudo.

No processamento inicial das imagens buscou-se gerar o ortomosaico, que consiste no alinhamento das imagens, no qual procurou-se as semelhanças entre elas, calculando-se os parâmetros de posição do ponto principal e os de rotação das imagens (SOUZA, 2015).

Nesta pesquisa, foi utilizada a sobreposição longitudinal e lateral de 80% para ambas, devido à necessidade de ter-se o maior número de pontos homólogos no processamento das fotos e também devido à finalidade de se reduzir as distorções formadas nas partes mais externas, visto que essas tendem a aumentar do centro da foto para as laterais.

Também nesta etapa, foi gerada a nuvem de pontos densa (*Dense Cloud*), obtida com base na correlação de imagens, feita por meio de medições de similaridade entre as imagens sobrepostas, com a identificação das coordenadas tridimensionais (x, y, z) da superfície fotografada (SILVA et al., 2016) e a partir desta foi possível gerar o *Digital Elevation Model* (DEM), que consistiu na estrutura de dados matriciais com a elevação de cada pixel armazenado, indicando os pontos de elevação na área contínua (MOORE et al., 1991).

Esta etapa foi desenvolvida por meio de um algoritmo matemático, presente no *Software* Agisoft PhotoScan Professional.

Por meio do DEM foi gerado o MDS, que possibilitou realizar a extração das curvas de nível, sendo estas com equidistância de 6 cm e por meio delas, pôde-se obter os valores de cada cota, por conseqüências, as alturas das árvores.

Na fase de obtenção do MDS foi empregado o *Software* Agisoft e para a extração das curvas de nível utilizou-se o *Software* QGIS, versão 2.16, pelo algoritmo de extração de contornos.

A geração do MDT, foi realizada por meio de procedimento da topografia convencional que utilizou a Estação Total da marca Trimble, modelo M3 2", fornecendo os dados para a planialtimetria local, ao longo do alinhamento do plantio.

Os GCPs também serviram como dados de base, por meio dos valores das coordenadas tridimensionais, para o processo de elaboração do MDT.

Após a obtenção dos pontos em campo, os mesmos foram processados no *Software* Trimble Business Center, utilizados como base para a geração do modelo em questão.

A obtenção das alturas das árvores foi realizada pela diferença entre MDS e MDT, sendo estas considerados como tratamento 1. Os valores de MDS, foram determinados por

meio da aquisição do valor da última cota da curva de nível de cada indivíduo. Os valores de MDT, foram definidos mediante a aquisição das altitudes dos pontos fornecidos pela planialtimetria, os quais estavam inseridos os 30 indivíduos do alinhamento.

Em ambas as situações, a obtenção dos valores das altitudes dos modelos, foi empregado o *Software* QGIS versão 2.16, por meio da ferramenta “identificar feições”.

Para a determinação de altura em campo, foi utilizado um hipsômetro Vertex IV da marca Haglöh, sendo estas alturas consideradas como tratamento 2. As alturas das 30 árvores do alinhamento, foram obtidas observando-se o valor indicado pelo aparelho, que fornece a distância e a altura, quando realizado o reconhecimento do receptor ultrassom - *transponder*, que pode ser alocado de uma árvore para outra.

Fez-se o uso deste, por ser um equipamento que dispõe de uma tecnologia atualizada e recente, a qual realiza medições com grande precisão. Porém, para atingi-la, é necessário que haja boa visualização dos alvos em questão.

Para a verificação estatística entre os diferentes tratamentos, alturas obtidas pela diferença entre os valores de MDS e MDT (tratamento 1) e altura medida pelo Vertex (tratamento 2), utilizou-se o teste t para amostras pareadas, uma vez que as mesmas árvores foram mensuradas por metodologias diferentes, analisando-se ao nível de significância estatística de 95%.

3. RESULTADOS

Na Figura 4, pode-se observar o DEM gerado a partir da nuvem de pontos, que posteriormente possibilitou a geração do MDS.

Na Figura 5, pode-se observar a imagem em cor acinzentada, a qual representa o MDS derivado do DEM, juntamente com os pontos em vermelho que representam o MDT, indicando o alinhamento escolhido para a aquisição das altitudes dos indivíduos utilizados na pesquisa.

Este alinhamento foi escolhido por estar previsto o desbaste sistemático, que em algum momento futuro poderá ser validada a metodologia por meio da obtenção da altura real das árvores.

A partir deste modelo, pôde-se extrair as curvas de nível que forneceram dados com valores de altitude por meio das cotas geradas, que representaram o MDS.



Figura 4. Modelo Digital de Elevação – MDE.

Figure 4. Digital Elevation Model – DEM.

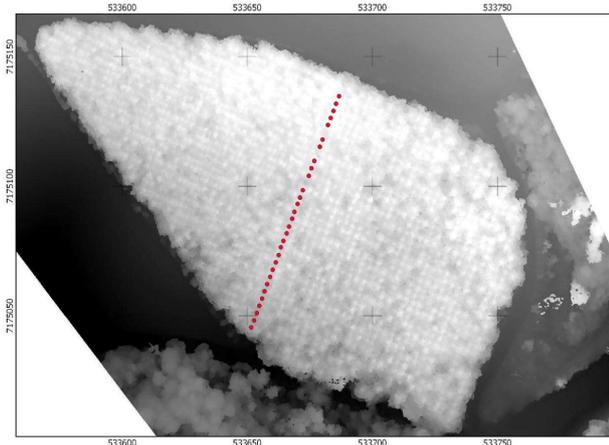


Figura 5. Modelo digital da superfície (MDS) e pontos do modelo digital no terreno (MDT).
Figure 5. Digital surface model (MDS) and digital model on the ground (MDT).

As curvas de nível ficaram dispostas da seguinte forma, como pode ser visto no exemplo isolado de dois indivíduos na Figura 6. As curvas em amarelo representam a última cota, indicando assim o topo da árvore, pela qual foi extraída a altitude, observando o valor que a ferramenta utilizada pelo *Software* forneceu. O ortomosaico foi utilizado apenas para observar e identificar as árvores que fazem parte do alinhamento.

Na Figura 7, apresenta-se graficamente a distribuição de resíduos da diferença entre os tratamentos.

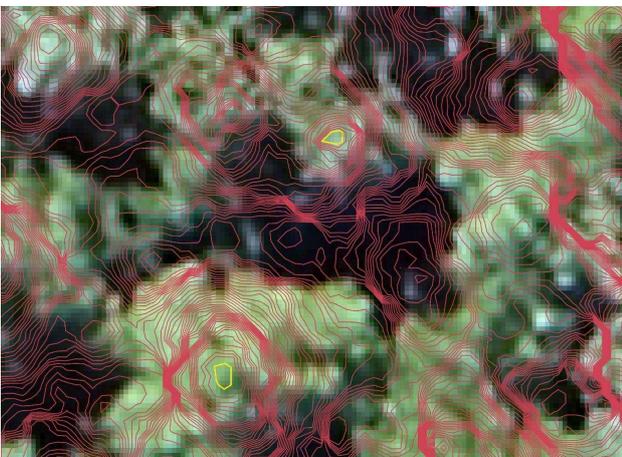


Figura 6. Curvas de nível geradas por meio do modelo digital de elevação.
Figure 6. Level curves generated by the digital elevation model.

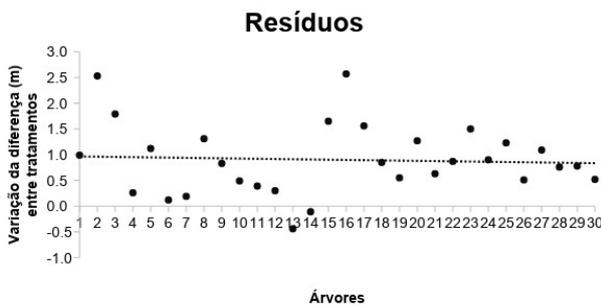


Figura 7. Variações obtidas entre a medição das alturas das 30 árvores pelos diferentes tratamentos.
Figure 7. Variations obtained between the measurement of heights 30 trees by different treatments.

Os valores de resíduos apresentam-se com distribuição que acompanham a linha de tendência, variando em um intervalo de -1,0 a 3,0 metros, não apresentando sub ou superestimava.

Analisando a distribuição dos valores de altura obtidos nos tratamentos aplicados, demonstrando haver semelhança entre eles, porém o tratamento 2 apresentou valores superiores ao tratamento 1, exceto em alguns indivíduos. A Figura 8 Este tipo de diagrama revela o centro, a dispersão (variação),

A Figura 8 (Boxplot) apresenta a distribuição dos dados, Limite inferior, 1º quartil, Mediana (2º quartil), 3º quartil, Limite superior e *outliers*.

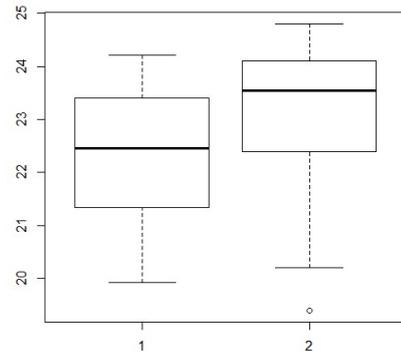


Figura 8. Boxplot referente ao Tratamento (1) e (2).
Figure 8. Boxplot for Treatment (1) and (2).

Considerando a diferença dos valores obtidos entre os tratamentos, verifica-se que 63,33% dos indivíduos apresentaram variação inferior a um metro. Na Tabela 1, é apresentada a análise estatística aplicada sobre os valores das alturas observadas.

Tabela 1. Análise estatística dos dados.
Table 1. Statistical analysis of data.

Estadística	Tratamento 1	Tratamento 2
Erro padrão (m)	0,24	0,27
Desvio padrão (m)	1,33	1,47
Mínimo (m)	19,28	19,40
Máximo (m)	24,21	24,80
Média (m)	22,23	23,13
"t" calculado		7,1583
"t" (0,05)		2,0452
p-valor		7,04E-08

4. DISCUSSÃO

Constatou-se a média de 22,23 m para a medição realizada pela diferença entre o MDS e MDT e 23,13 m para a medição utilizando o Vertex, o que ocasiona a diferença de 4,05%, e desvio padrão de 1,33 e 1,47 (respectivamente) fato que orienta na viabilidade técnica da metodologia por meio do uso de imagens obtidas por VANT's.

De acordo com Iizuka et al. (2017), calculando a altura de coníferas ((*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. et Zucc.) e *Pinus densiflora*)) pela diferença entre o MDT e MDS utilizando VANT, foi obtido o valor do erro quadrático médio na estimativa de altura, de 1,712 metros ($R^2 = 0,2076$). Segundo os autores, os resultados apresentaram boa estimativa mesmo em florestas densas e em áreas montanhosas. Esse resultado está em conformidade com a presente pesquisa, porém, como

foi utilizada a topografia convencional para determinar a cota na base das árvores, apesar de ser mais trabalhosa a coleta, apresentaram estimativas ligeiramente superiores.

Rabadán et al. (2016), utilizando dados LIDAR, em um plantio de *P. sylvestris*, obtendo a altura em função do diâmetro/área de copa e DAP, obtiveram erro médio quadrático de 1,35 m. Isso demonstra que a metodologia aplicada na presente pesquisa é apropriada, principalmente relacionado ao custo de voo e a praticidade na coleta dos dados, apresentando resultados promissores na determinação de alturas.

Analisando-se os valores de erro padrão e desvio padrão, verifica-se a maior precisão e menor dispersão, respectivamente, nos dados coletados com a metodologia apoiada por imagem.

O erro padrão indica a precisão que auxilia a verificação da confiabilidade da média amostral ou da representatividade da mesma, sendo inversamente proporcional ao tamanho da amostra e diretamente proporcional ao desvio padrão, este último utilizado para refletir a dispersão dos dados de uma amostra (JÚNIOR, 2013).

Sendo as hipóteses, $H_0: \mu_1 = \mu_2$ e $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$, analisando o *p-valor* obtido no teste ($7,04E-08$), rejeita-se H_0 e conclui-se que há diferença estatística significativa ao nível de 1% de probabilidade de erro, entre as diferentes formas de obtenção dos dados.

Deve-se destacar, que a mensuração das alturas com hipsômetro é uma medida indireta, que de certa forma, pode dificultar a visualização do ápice das árvores e neste caso pode ter superestimado os valores das alturas.

Estudos posteriores deverão ser realizados de maneira a utilizar os mesmos tratamentos propostos nesta pesquisa, considerando a aplicação da mensuração direta da altura das árvores, necessitando, para isto, a derrubada para a coleta de dados (método destrutivo) e assim, a obtenção dos valores de altura real, e por meio destes, realizar a comprovação de qual tratamento retratará com maior fidelidade os valores reais de altura.

5. CONCLUSÕES

Com esta pesquisa, conclui-se que foi possível a obtenção da variável dendrométrica altura total, de indivíduos de *Pinus taeda* por meio de imageamento aéreo, a partir da geração de modelos digitais que representaram a superfície do terreno juntamente com os objetos de estudo nele presentes.

Em comparação ao método convencional, utilizando hipsômetro Vertex, os resultados mostraram proximidade em precisão a partir do erro padrão obtido e pequena variação (4,05%) entre os valores das médias dos dados, apontando, desta forma, a viabilidade técnica do levantamento. Porém, ao aplicar o teste *t*, verificou a existência de diferença significativa, a uma probabilidade de 5% de erro, entre os valores de altura total obtidos nas metodologias aplicadas.

6. RECOMENDAÇÕES

Para que haja comprovação da metodologia apresentada nesta pesquisa é imprescindível posterior estudo, que necessita realizar a derrubada dos indivíduos, para obter a real altura da árvore.

Por se tratar de uma técnica inovadora e experimental, é necessário um espaço de tempo maior, com mais repetições em outras áreas, que forneçam subsídio para análises de

viabilidade técnica e econômica e que permitam comparar o tempo gasto e os custos gerados desde a coleta e obtenção de dados até o posterior processamento dos mesmos.

7. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. C. R. **Proposta de Redução de custos em inventários florestais por meio de uso de técnicas de geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE, 2013. 38 p.
- BURROUGH, P. A. **Principles of Geographic Information System for Land Resources Assessment**. New York: Oxford University Press, 1986. 194 p.
- DEFRIES, R. Terrestrial vegetation in the coupled human-earth system: contributions of remote sensing. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto, v. 33, p. 369-390, 2008. DOI: <https://dx.doi.org/10.1146/annurev.enviro.33.020107.113339>
- FIGUEIRA, N. M.; OLIVEIRA, L. C. Super-resolução: técnicas existentes e possibilidade de emprego às imagens do vant vt-15. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, v. 30, p. 3-19, 2013.
- HAALA, N.; BRENNER, C., Interpretation of urban surface models using 2D building information. **Computer Vision and Image Understanding**, v. 72, n. 2, p. 204-214, 1999. DOI: <https://dx.doi.org/10.1006/cviu.1998.0720>
- HENTZ, Â. M. K., DALLA CORTE, A. P., NETTO, S. P., STRAGER, M. P., & SCHOENINGER, E. R. Treedetection: automatic tree detection using uav-based data. **Floresta**, Curitiba, v. 48, n. 3, p. 393-402, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v48i3.56150>
- IIZUKA, K.; YONEHARA, T.; ITOH, M.; KOSUGI, Y. Estimating Tree Height and Diameter at Breast Height (DBH) from Digital Surface Models and Orthophotos Obtained with an Unmanned Aerial System for a Japanese Cypress (*Chamaecyparis obtusa*) Forest. **Remote Sensing**, v. 10, n. 1, p. 13, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/rs10010013>
- ISIOYE, A. O.; JOBIN, P. An Assessment of Digital Elevation Models (DEMs) From Different Spatial Data Sources. **Asian Journal of Engineering, Sciences & Technology**, v. 2, n. 1, 2012.
- JÚNIOR, J. I. R. **Análises Estatísticas no Excel: Guia Prático**. 2. ed. Minas Gerais, Viçosa, p. 84-85, 2013.
- MOORE, I. D., R. B. GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 5, n. 1, p. 3-30, 1991.
- RABADÁN, M. Á. V.; PEÑA, J. S.; ADÁN, F. S. Estimation of diameter and height of individual trees for *Pinus sylvestris* L. based on the individualising of crowns using airborne LiDAR and the National Forestry Inventory data. **Forest systems**, Madrid, v. 25, n. 1, p. 1, 2016.
- SILVA, C. A.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; SANTOS, A. L. S.; AMARO, V. E.; BICHO, C. P.; SABADIA, J. A. B. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LIDAR. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 73, 2016.
- SOUZA, G. **Análise de viabilidade do uso de VANT para mapeamentos topográfico e de cobertura e uso da terra**. 2015. 94f. Monografia. (Bacharel em Engenharia

Cartográfica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WATTS, A. C.; PERRY, J. H.; SMITH, S. E.; BURGESS, M. A.; WILKINSON, B. E.; SZANTOI, Z.; IFJU, P. G.; FRANKLIN PERCIVAL, H. Small Unmanned Aircraft Systems for Low-Altitude Aerial Surveys. **Journal of Wildlife Management**, Bethesda, v. 74, n. 7, p. 1614-1619, 2010. DOI: <https://dx.doi.org/10.1111/j.1937-2817.2010.tb01292.x>