

DELIMITAÇÃO DE COPAS EM FLORESTAS CLONAIS DE *Eucalyptus sp.* ATRAVÉS DE CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM OBJETO

TREE CROWN DELIMITATION IN CLONAL FORESTS OF *Eucalyptus sp.* THROUGH OBJECT-BASED CLASSIFICATION

Rodrigo de Campos Macedo¹, João Roberto dos Santos², Leila Maria G. Fonseca³,
Cláudia Maria de Almeida⁴, João Viane Soares⁵

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil, ¹macedo@dsr.inpe.br, ²jroberto@dsr.inpe.br, ³leila@dpi.inpe.br, ⁴almeida@dsr.inpe.br, ⁵viane@dsr.inpe.br

RESUMO

Através de dados de perfilamento a *laser* (LiDAR), modelos digitais de altura são gerados com significativa precisão. Utilizando-se classificação baseada em objeto é possível delimitar copas e estimar parâmetros dendrométricos. O objetivo deste artigo é validar estas estimativas para três parâmetros: área de copa, quantidade e altura de árvores, com erro máximo aceitável de 5%. Foram realizados os procedimentos de segmentação multirresolução e classificação com limiares de alturas totais. Os atributos dos polígonos obtidos na segmentação foram comparados aos valores medidos em campo para validação, sendo o número de polígonos equivalente à quantidade de árvores, a área de cada polígono equivalente à área de copa, e a altura relativa ao centroide de cada polígono equivalente à altura da árvore. Em relação ao número de árvores, houve uma superestimativa, principalmente devido ao excesso de polígonos classificados como copas (erros de comissão). Porém, não houve geração de polígonos pequenos, mas sim a classificação de elementos não arbóreos, como, por exemplo, entrelinhas ou mesmo arbustos. A classificação baseada em objeto possibilitou a delimitação das copas e contagem das árvores, mas sua eficiência é dependente da qualidade dos modelos digitais. Para minimizar a geração excessiva de polígonos e aprimorar as estimativas, recomenda-se o refinamento do processo de segmentação usando filtros ou métodos de pós-classificação.

Palavras-chave: Classificação baseada em objeto, LiDAR, Modelo digital de altura, Inventário florestal.

ABSTRACT

This paper is committed to evaluate the use of object-based classification applied to a canopy height model derived from laser scanning data (LiDAR) for estimating dendrometric parameters. The objective is to validate these estimates for three parameters: number of trees, crown area, and total height, with a maximum acceptable error of 5%. The multiresolution segmentation has been employed associated with classification based on thresholds of total height. The attributes of the resulting polygons from this segmentation were compared with those obtained from the reference data on the field, where the number of polygons is equal to the number of trees, each polygon area is equivalent to the crown area, and the height extracted at the polygon centroid is equivalent to the tree height. Regarding the number of trees, there was an overestimation, mainly due to excess of polygons classified as crown (commission errors). This overestimation could erroneously lead us to expect an underestimation of crown area, generating polygons smaller than the crowns. However, there was no generation of smaller polygons, but rather the classification of elements other than trees, such as alleys or bushes. The object-based classification showed to be efficient for the delimitation of the tree crowns and their counting, but it is highly dependent on the quality of the digital models. In order to improve these estimates, it is recommended the refinement of the segmentation results by means of filters or post-classification routines.

Keywords: Object-based classification, LiDAR, Canopy height model, Forestry inventory.

INTRODUÇÃO

Em inventários florestais, a correta mensuração dos parâmetros dendrométricos é essencial para a modelagem e geração de prognósticos de volume madeireiro. Para povoamentos clonais, a variável altura arbórea, justamente por ser mais influenciada por fatores genotípicos que ambientais, varia menos que a área basal. Sendo assim, torna-se factível realizar estimativas volumétricas apenas com os parâmetros relacionados ao dossel florestal – área de copa, quantidade e altura de árvores.

Características referentes ao dossel arbóreo são importantes para indicar aspectos da cobertura florestal que estão sendo observados, tais como tipo, estado ou outros aspectos úteis para o monitoramento e modelagem. Nos últimos anos, a análise de dosséis florestais com sensores remotos tem se intensificado, principalmente com o uso de dados LiDAR (*Light Detection and Ranging*), que é considerado o sensor mais acurado para inventários florestais (LEWIS; HANCOCK, 2007). Baltsavias (1999b) comenta que os programas comerciais limitam-se a converter, classificar pontos e gerar modelos de superfície, sendo que produtos como contagem de indivíduos, cálculo de altura e área de copa, restringem-se a soluções locais e não-comerciais.

Macedo (2009) afirma que a altura de árvores pode ser estimada com dados LiDAR com significativa exatidão, porém a delimitação das copas ainda carece de aprimoramentos. A esta constatação, adiciona-se o fato de que os sensores a *laser* registram a informação de intensidade (retroespalhamento correspondente à região espectral utilizada), possibilitando a geração de uma imagem com características semelhantes a uma fotografia pancromática, potencialmente útil para a delimitação de copas via classificação (ST-ONGE et al., 2004). Segundo Macedo et al. (2010), a classificação baseada em objeto resolveria as limitações dos algoritmos de máximas locais, principalmente aquelas relacionadas à delimitação de copa, o que influencia a estimativa da área de copa, parâmetro potencialmente substituidor do DAP em prognose volumétrica. Desta forma, a análise baseada em objeto surge como uma alternativa para a delimitação de copas, pois leva em consideração atributos de forma, textura, cor e outros atributos contextuais, além da informação espectral do *pixel* (HOFFMANN; VEGT, 2001).

A hipótese deste trabalho é de que a utilização da técnica de análise baseada em objeto e do modelo digital de altura possibilita a estimativa de parâmetros dendrométricos compatíveis com as mensurações de campo. O objetivo é validar estas estimativas em relação à referência de campo para três parâmetros: área de copa, quantidade e altura de árvores, com erro máximo aceitável de 5%.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho é localizada no município de Igaratá, Estado de São Paulo, na região conhecida como Vale do Paraíba. Possui 267,98 ha de área total, sendo que 145,46 ha estão ocupados com eucaliptos, 61,35 ha destinados à Reserva Florestal Legal e 45,37 ha de Área de Preservação Permanente. Trata-se da primeira rotação de um segundo ciclo de plantio (área reformada), com quatro anos de idade na data de aquisição dos dados, cujo espaçamento de plantio é 3x2m, com relevo ondulado.

Esta área foi escolhida por ser uma plantação florestal controlada, com a existência de inventário florestal contínuo e um censo de quantidade de árvores em três de seus nove talhões (PIMENTEL, 2008). A Figura 1 apresenta a localização da área de estudo e uma visão geral da cobertura florestal.

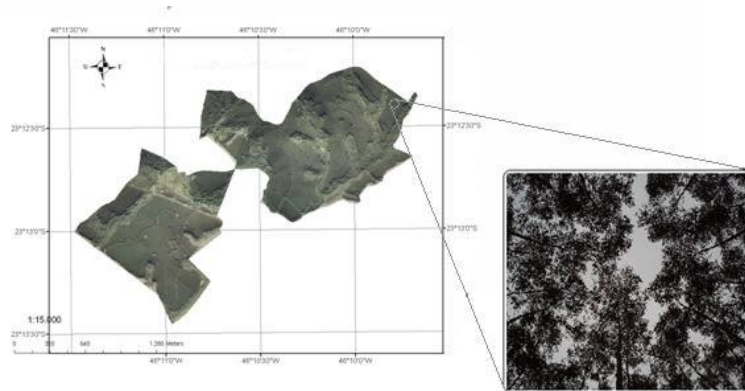


Figura 1. Localização da área de estudo e visão geral da cobertura florestal.
Figure 1. Study area location and overview of forest cover.

Procedimentos

Como insumo para a realização deste experimento, foi utilizado um Modelo Digital de Altura (MDA), resultado direto da subtração entre o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Modelo Digital de Terreno (MDT), obtidos através de aerolevantamento em 28/04/2008, com resolução espacial de 0,25m. Foi utilizado o *laserscanner* Optech ALTM 2050; sistema de medição inercial Applanix de 200Hz e DGPS Novatel Millennium (MACEDO, 2009).

Os aplicativos utilizados foram o ESRI ArcGIS 9.3 (geoprocessamento) e DEFINIENS Developer 7.0 (segmentação e classificação). A Figura 2 ilustra o procedimento metodológico adotado neste trabalho.

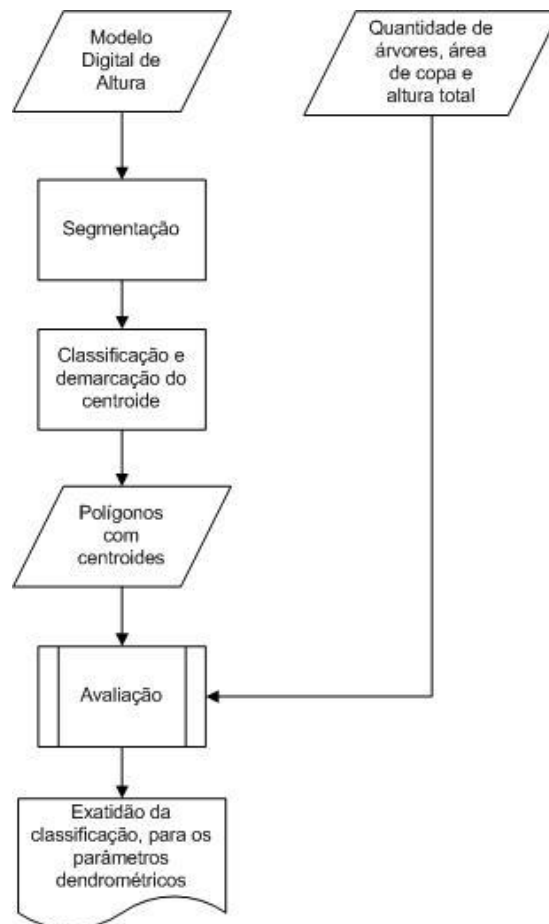


Figura 2. Fluxograma metodológico.
Figure 2. Methodological flowchart.

Os processos de segmentação e classificação foram executados no sistema Definiens (DEFINIENS, 2007). Os valores dos parâmetros ótimos de segmentação baseada em multi-resolução foram definidos empiricamente para cada insumo, considerando-se o tamanho do pixel e a área de copa medida em campo:

- *Scale Factor* – 5;
- *Color*– 0,75 / *Shape* – 0,25.
- *Compactness* – 0,9 / *Smoothness* – 0,1;

A classificação foi realizada utilizando-se os seguintes limiares:

- *Altura total mínima* – 15m;
- *Altura total máxima* – 30m.

Os atributos dos polígonos resultantes desta segmentação foram comparados às referências para validação, sendo:

- Quantidade de polígonos – equivalente à quantidade de árvores;
- Área de cada polígono – equivalente à área de copa;
- Altura contida no centroide de cada polígono – equivalente à altura da árvore.

A referência utilizada para validação dos parâmetros a serem estimados foi um inventário florestal de campo (MACEDO, 2009). Esta validação foi realizada através de uma comparação estatística entre os parâmetros dendrométricos estimados e a referência. Foi calculada a raiz do erro médio quadrático (*Root Mean Square Error* - RMSE) como medida estatística da magnitude do erro, expressa na Equação 1.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (1)$$

em que: N = tamanho da população; x_i = valores individuais

Além do RMSE, foram calculados o erro amostral e o intervalo de confiança e analisados os resíduos, conforme as Equações 2 e 3.

$$E = t.S_{\bar{y}} \quad (2)$$

em que E =erro amostral; t =valor da distribuição *student* tabelado; $S_{\bar{y}}$ =desvio da média

Para o valor t , considerou-se 1,96 (95%) em todos os cálculos.

$$IC = \left\{ \bar{y} - t.S_{\bar{y}} \leq \mu \leq \bar{y} + t.S_{\bar{y}} \right\} \quad (3)$$

em que IC =intervalo de confiança; \bar{y} =média

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados em relação à quantidade de árvores podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de árvores por talhão.

Table 1. Number of trees per stand.

TALHÃO	CAMPO	CLASSIFICAÇÃO	DIFERENÇA
1	21.733	28.522	6.789
7	17.402	21.298	3.896
8	14.958	19.723	4.765
MÉDIA ARITMÉTICA	18.031	23.181	5.150
RMSE			5.291

É possível perceber a superestimativa, principalmente devido ao excesso de polígonos classificados como copas (erros de comissão). Após o cálculo do erro amostral e do intervalo de confiança (Figura 3), foi verificado que os intervalos de confiança são coincidentes, evidenciando a não-significância da diferença.

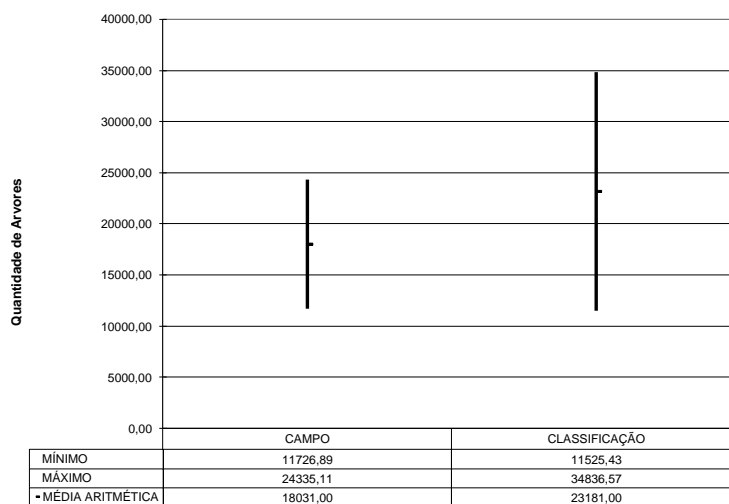


Figura 3. Comparação entre os intervalos de confiança da quantidade de árvores mensurada em campo e quantidade de árvores estimada.

Figure 3. Comparison between the confidence intervals of number of trees counted in the field and number of estimated trees.

A estimativa também foi comparada à contagem de árvores realizada em um censo em imagem, como é possível visualizar na Tabela 2. Neste caso, a superestimativa é maior ainda. Após o cálculo do erro amostral e do intervalo de confiança (Figura 4), foi possível verificar os intervalos de confiança coincidentes, evidenciando a não-significância da diferença.

Tabela 2. Quantidade de árvores por talhão.

Table 2. Tree counting per stand.

	CENSO	CLASSIFICAÇÃO	DIFERENÇA
1	17.377	28.522	11.145
7	12.619	21.298	8.679
8	13.923	19.723	5.800
MÉDIA ARITMÉTICA	14.640	23.181	85.41
RMSE			8.816

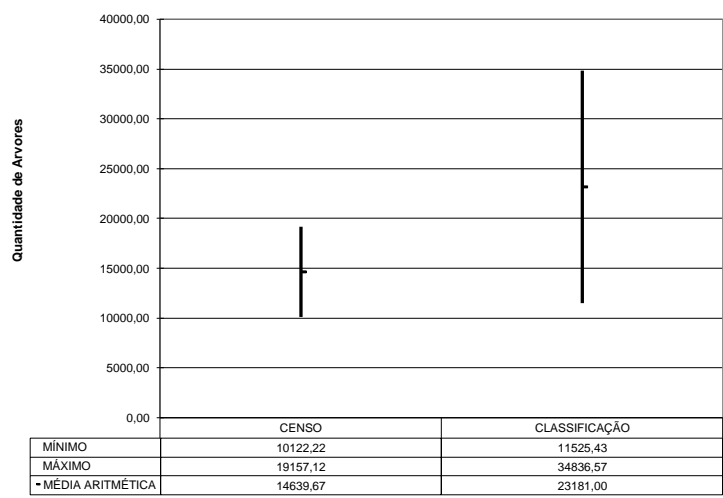


Figura 4. Comparação entre os intervalos de confiança da quantidade de árvores mensurada em imagem e quantidade de árvores estimada.

Figure 4. Comparison between the confidence intervals for number of trees observed in the image and number of estimated trees.

Os resultados em relação à média da área de copa (m²) podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3. Área de copa (m²) por talhão.

Table 3. Crown area (sqm) per stand.

TALHÃO	CAMPO	CLASSIFICAÇÃO	DIFERENÇA
1	5,31	4,11	-1,20
7	5,48	6,76	1,28
8	7,19	7,64	0,45
MÉDIA ARITMÉTICA	6,00	6,17	0,17
RMSE			1,04

Após o cálculo do erro amostral e do intervalo de confiança (Figura 5), foi possível verificar os intervalos de confiança coincidentes, evidenciando a não-significância da diferença.

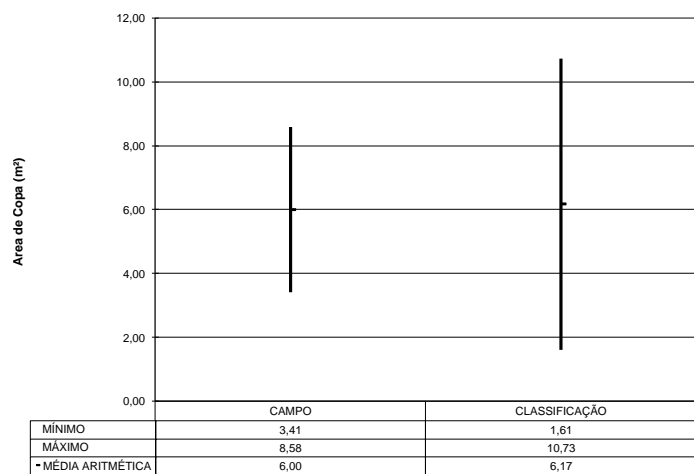


Figura 5. Comparação entre os intervalos de confiança da área de copa mensurada em campo e da área de copa estimada.

Figure 5. Comparison between the confidence intervals of crown area measured in the field and estimated crown area.

Devido à superestimativa na quantidade de árvores, era esperada uma subestimativa na área de copa, ou seja, a geração de polígonos menores que as copas. Porém, isto não ocorreu. A superestimativa na quantidade de árvores não foi causada pela geração de polígonos pequenos, mas sim pela classificação de elementos não-arbóreos, como por exemplo, entrelinhas ou mesmo arbustos. A Figura 6 ilustra alguns centroides erroneamente classificados (demarcados por elipses em vermelho).

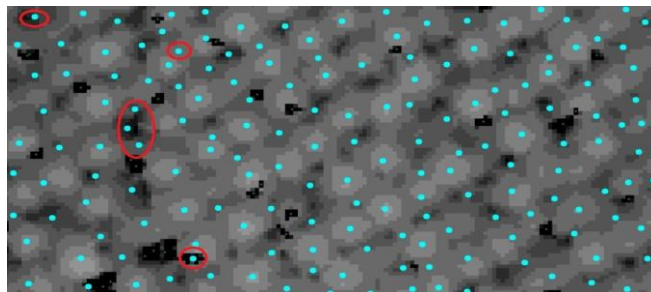


Figura 6. Centroides com os pixels que contém o valor referente à altura total. Em vermelho, estão indicados alguns pontos de máxima considerados errôneos.

Figure 6. Centroids with the pixels that contains the total height value. Some errors are indicated in red.

Os resultados em relação à média da altura total (m) podem ser visualizados na Tabela 4:

Tabela 4. Altura total (m) por talhão.

Table 4. Total height (m) per stand.

TALHÃO	CAMPO	CLASSIFICAÇÃO	DIFERENÇA
1	22,11	20,98	-1,13
7	22,46	21,13	-1,33
8	23,55	22,06	-1,49
MÉDIA ARITMÉTICA	22,71	21,39	-1,32
RMSE			1,33

Corroborando com a literatura, o MDA apresenta a tendência de subestimativa (DUBAYAH; DRAKE, 2000; ZIMBLE et al, 2003; LEWIS; HANCOCK, 2007). Após o cálculo do erro amostral e do intervalo de confiança (Figura 7), foi possível verificar os intervalos de confiança coincidentes, evidenciando a não-significância da diferença.

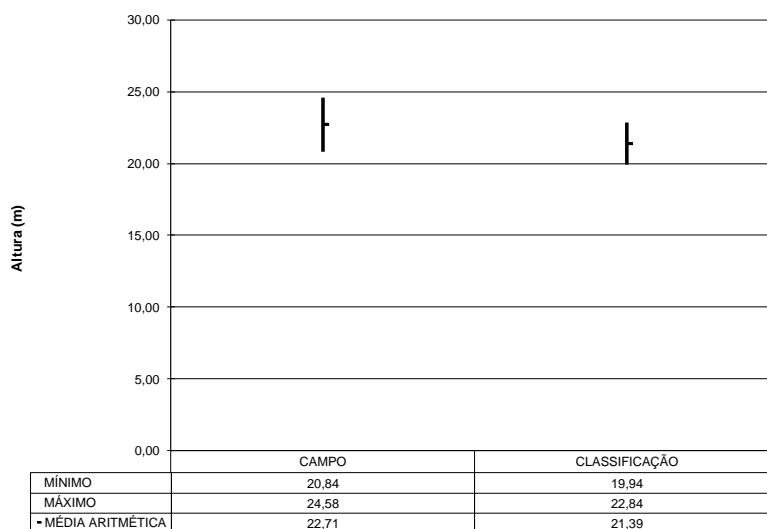


Figura 7. Comparação entre os intervalos de confiança da altura total mensurada em campo e da altura total estimada.

Figure 7. Comparison between the confidence intervals of total height measured in the field and the total estimated height.

A referência utilizada é uma extrapolação dos parâmetros mensurados em parcelas amostrais. A diferença existente entre a quantidade de árvores extrapoladas (inventário tradicional) e contadas (inventário em imagem) indica que a utilização de dados LiDAR para estimativas de variáveis dendrométricas requer referências mais precisas que as disponíveis. A exatidão altimétrica do LiDAR é algo em torno de 15cm (BALTSAVIAS, 1999a). Para validação, o levantamento de campo deve apresentar erro planimétrico inferior a 5cm – em situações florestais, com relevo ondulado, é algo bastante difícil. Isto ocorrer porque o erro altimétrico do GPS é cerca de três vezes superior ao erro planimétrico.

CONCLUSÕES

A classificação baseada em objeto possibilita a delimitação das copas e contagem das árvores, mas é dependente da qualidade do MDA (que por sua vez é dependente da qualidade dos MDS e MDT). A geração excessiva de polígonos requer o refinamento da segmentação por meio de filtros ou mesmo rotinas de pós-classificação. Além disso, a utilização de fotografias ou imagens de apoio pode reduzir os erros de comissão.

Recomenda-se a aplicação da classificação baseada em objeto a mais de um produto *raster* concomitantemente, tais como a imagem intensidade ou de alta resolução.

REFERÊNCIAS

- BALTSAVIAS, E. P. Airborne LASER Scanning: Basic Relations and Formulas. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v. 54, n. 2/3, p. 199–214, 1999a.
- BALTSAVIAS, E. P. Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v. 54, n. 2/3. p.164–198. 1999b.
- DUBAYAH, R.; O. DRAKE, J. B. Lidar Remote Sensing for Forestry Applications. *Journal of Forestry*, v. 98, n. 6, p. 44-46, 2000.
- HOFFMANN, A.; VEGT, J.W.V. New sensor systems and new classification methods: laser and digital camera data meet object-oriented strategies. *Journal for Spatial Information and Decision Making*, v. 6, n. 1. p. 18-23. 2001.
- LEWIS, P.; HANCOCK, S. *LiDAR for vegetation applications*. UCL, Gower St, London, UK. 2007.
- DEFINIENS AG. *Definiens Developer 7. Reference Book*. Document Version 7.0.0.843. 195p. 2007.
- KUMAR, N. *Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm*. CRC Press Taylor & Francis Group. Boca Raton, FL. 206p. 2006.
- MACEDO, R.C. Estimativa volumétrica de povoamento clonal de *Eucalyptus* sp. através de laserscanner aerotransportado. 2009. 143 p. (INPE-15743-TDI/1488). *Dissertação* (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2009.
- MACEDO, R.C. *et al.* TreeX (*treeextractor*) – uma ferramenta para análise de dossel florestal e contagem de árvores a partir de dados LiDAR. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 9, 2010. Curitiba. *Anais do IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal*, Curitiba, Editado por Attilio Antonio Disperati e João Roberto dos Santos, p. 89-100. 2010.
- PIMENTEL, V.T.F. Uso de técnicas de interpretação de imagens na contagem das copas das árvores em plantios de eucalipto. *Relatório final de estágio*. Universidade Federal de Lavras. Lavras/MG. 21p. 2008.
- ST-ONGE, B. *et al.* Measuring individual tree height using a combination of stereophotogrammetry and lidar. *Canadian Journal for Remote Sensing*, v. 34. p. 2122–2130. 2004.
- ZIMBLE, D.A.; EVANS, D.L.; CARLSON, G.C.; PARKER, R.C.; GRADO, S.C.; GERARD, P.D. Characterising vertical forest structure using small-footprint airborne LiDAR. *Remote Sensing of Environment*, v. 87. p.171. 2003.