

USO DO LiDAR PARA AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA TOPOGRÁFICA NA ALTURA MÉDIA E ÁREA BASAL DE TALHÕES DE *Pinus taeda* L.

Marieli Sabrina Ruza¹, Ana Paula Dalla Corte²

¹ UFPR Curitiba, Paraná, Brasil marielisabrinaruza@yahoo.com.br

² UFPR Curitiba, Paraná, Brasil anapaulacorte@gmail.com

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência da declividade e da altitude do terreno sobre a área basal e a altura média em plantações de *Pinus taeda*, localizados em Telemâco Borba, sul do Brasil. Para tanto foram instaladas 50 parcelas em um plantio comercial da empresa Klabin S/A, com idades entre 4 e 13 anos e tomadas as medidas de DAP de todos os indivíduos e altura de 15% das árvores. Em seguida realizou-se um voo com a aeronave CESSNA 206 utilizando o sensor Harrier 68i, para a obtenção de dados LiDAR. Utilizou-se do software Fusion para a geração de um relatório descritivo do conjunto de dados, para a identificação e remoção de valores discrepantes, posteriormente com o mesmo software diferenciou-se o solo dos pontos de vegetação através de um filtro e normalizou-se as alturas, em seguida os dados foram separados para cada uma das 50 parcelas e as métricas foram calculadas através da nuvem de pontos. O modelo digital do terreno (DTM) foi obtido, abrangendo 3 classes de declividade, onde foram aleatorizado 20 parcelas para cada classe de declividade, para extrair os dados de declividade e altitude. O modelo linear generalizado ajustado demonstrou que apenas a variável área basal é influenciada pela elevação do terreno, enquanto que a altura média das árvores pode ser explicada pela variáveis topográficas elevação do terreno e declividade.

Palavras-chave: declividade, elevação, altitude

USE OF LiDAR FOR THE EVALUATION OF TOPOGRAPHIC INFLUENCE AT THE AVERAGE HEIGHT AND BASAL AREA STANDS OF *Pinus taeda* L.

Abstract

The objective of this work was to evaluate the influence of the slope and elevation of the terrain on the basal area and average height of stands of *Pinus taeda*, located in Telemâco Borba, southern Brazil. For this purpose, 50 plots installed in a commercial stand, owned by the company Klabin S/A, aged between 4 and 13 years old, where it was measured the DBH of all trees and the height of 15% of them. A CESSNA 206 flight was then performed using the Harrier 68i sensor to obtain LiDAR data. The Fusion software was used to generate a descriptive report of the data set, to identify and to remove discrepant values, later with the same software the soil was differentiated of the points of vegetation through a filter and the heights, then the data were separated for each one of the 50 plots and the metrics were calculated through the cloud of points. The digital terrain model (DTM) was obtained, covering 3 slope classes, where 20 plots were randomized for each declivity class to extract slope and altitude data. The adjusted generalized linear model showed that the basal area variable is influenced by the elevation of the terrain and slope, while the average height of the trees can be explained by the topographic variable, elevation.

Keywords: slope, elevation, altitude

INTRODUÇÃO

A obtenção de informação da floresta em relação a renovação de seus recursos, a sua estrutura, processo de regeneração e seu potencial quantitativo e qualitativo, proporciona um planejamento para a produção contínua da floresta (CORAIOLA; NETTO, 2003).

Conhecer as variáveis dendrométricas das espécies de interesse é essencial à prática de planejamento e comercialização dos produtos advindos da floresta (CAMPOS; LEITE, 2006).

As áreas basais, juntamente com a altura, fazem parte dos dados mensurados em um inventário florestal, e são utilizados como variáveis em modelos matemáticos para estimativa de valores para o restante do povoamento que não foi mensurado.

A área basal expressa a parte de uma área florestal que é ocupada por fustes das árvores e também pode ser definida como a soma de áreas transversais das árvores de uma floresta (MACHADO; FIGUEIREDO, 2003).

Diante da dificuldade em campo para obtenção de dados da floresta e do tempo despendido para a coleta das informações, novas ferramentas e tecnologias, como o sensoriamento remoto, buscam aprimorar a mensuração e processamentos dos dados de inventário florestal.

Novo (1989) define o sensoriamento remoto como a utilização conjunta de sensores com o propósito de estudar o ambiente terrestre, analisando a interação entre a radiação eletromagnética e as coberturas que constituem a superfície terrestre.

Zonete (2009) ainda afirma que equipamentos baseados em emissões de laser estão cada vez mais acessíveis e são uma opção de tecnologia aplicada aos inventários florestais.

A tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*) mede a distância de um determinado alvo, utilizando um Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) para a mensuração dos dados (MARTINS NETO, 2015).

Sua utilização como ferramenta na mensuração florestal tem se amplificado ao longo dos últimos anos, e essa disseminação deve-se à rápida aquisição de dados, além da alta penetração em florestas com vegetações densas. A energia emitida pelos pulsos laser, permite conhecer a estrutura da vegetação e da cobertura vegetal, além de ter alta densidade amostral e ser sensível a pequenas alterações no terreno (GORGENS *et al.*, 2014).

Diante da facilidade do novo acesso, para obtenção de dados florestais, o desafio está em adaptar o conhecimento aos novos métodos e ainda assim gerar dados confiáveis (ZANDONÁ, 2006).

Naeset (2007) verificou em seu trabalho que para as variáveis como volume e área basal o erro percentual das estimativas geradas pelo laser scanner aerotransportado é dependente da área amostrada, da quantidade de pulsos por metro quadrado e do número de parcelas de controle.

Porém, cabe analisar a interferência da declividade e da orientação do terreno sobre a correlação com a radiação solar incidente sobre as plantas, a qual pode ter influência sobre o aproveitamento e absorção de energia, refletindo no crescimento da floresta.

A declividade promove uma variedade de efeitos ambientais, como gradientes de umidade do solo, erosão do solo e transporte, interferência na penetração de luz dentro da floresta, exposição de indivíduos menores, e da parte superior do dossel em áreas de declive acentuado (RODRIGUES *et al.*, 2010).

Diante do exposto o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito das características topográficas, declividade e elevação do terreno na altura média e área basal em plantações de *Pinus taeda* L. localizados no Sul do Brasil extraídos de dados LiDAR.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

Á área de estudo é composta por 6 talhões da espécie de *P. taeda*, que totalizam 91,92 ha, com idades variando de 4 a 13 anos, localizados no município de Telêmaco Borba – PR, pertencentes à empresa Klabin S.A (Figura 1).

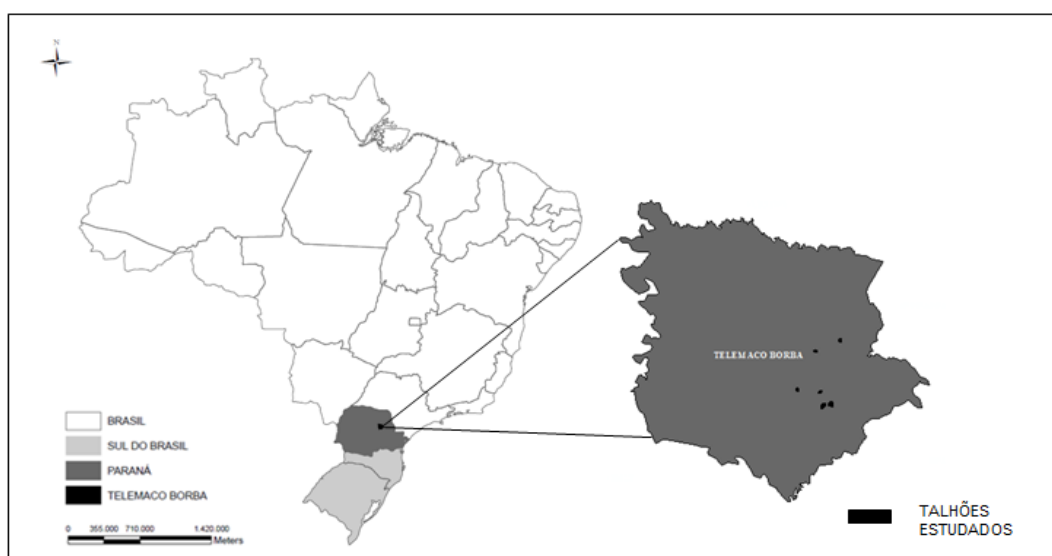


Figura 1. Localização da área de estudo, apresentando os 6 talhões em Telêmaco Borba, Paraná, Brasil.
Figure 1. Location of the study area, with the 6 stands on Telêmaco Borba, Paraná, Brazil.

O clima da área é caracterizado como Cfa, temperado e quente, segundo a classificação de Koppen, com precipitação média anual de 1.378 mm e temperatura média de 18,4 °C (KÖPPEN; GEIGER, 1928).

A densidade de indivíduos é de 1.600 à 1.667 árvores por hectare com espaçamento inicial de plantio de 2,5 x 2,5 m ou 3,0 x 2,0 m, respectivamente.

Coleta de dados

Foram instaladas 50 parcelas retangulares com área aproximada entre 500 a 620 m², em talhões com idades de 4 a 13 anos. Todas as parcelas foram georreferenciadas com um GPS (Trimble Pro-XR) geodésico, o que permitiu reduzir o erro horizontal para o nível de 10cm.

Foram mensurados os diâmetros a 1,30m acima do solo (DAP) de todas as árvores pertencentes à unidade amostral. Também foi quantificado a área basal por hectare. Para o cálculo da área basal foi utilizada a fórmula a seguir:

$$AB_n = \sum_{i=1}^n \frac{\pi * DAP^2}{40000} * (FP)$$

Onde:

AB = Área basal em m². ha⁻¹ para a parcela n; DAP: diâmetro a 1,30 m acima do solo; FP: Fator de Proporcionalidade (10000/área da parcela)

Em cada unidade amostral também foram medidas as alturas totais de 15% das árvores, o restante das alturas não incluídas na mensuração foram estimadas pelo modelo hipsométrico de Curtis, o qual foi ajustado pela equipe de inventário da Klabin S.A.

Aquisição dos dados LiDAR e processamento dos dados

Para a obtenção dos dados LiDAR foi utilizado o sensor Harrier 68i, o qual foi instalado e operacionalizado com a aeronave CESSNA 206 (Tabela 1).

Tabela 1. Características e precisão do voo LiDAR.

Table 1. LiDAR flight characteristics and precision.

Parâmetro	Valor
Ângulo de varredura do nadir	60°
<i>Footprint</i>	0,33 m
Velocidade de voo	234,00 km/h
Precisão horizontal	10 cm
Precisão da elevação	15 cm
Altitude Operacional	666,17 m
Frequência de Varredura	300 kHz
Densidade de Pulsos	4 pulsos.m ⁻²

O processamento dos dados foi dividido em várias etapas e utilizou o software FUSION/LDV 3.42. Inicialmente foi gerado um relatório descritivo do conjunto de dados com a ferramenta Catálogo, o qual foi utilizado para identificar a extensão e valores extremos da cobertura LiDAR. O *ClipData tools* foi utilizado para remover valores discrepantes, quando encontrados.

Para a diferenciação entre o solo e pontos de vegetação foi aplicado o algoritmo de filtragem baseado em Kraus e Pfeifer (1998) disponível na ferramenta *Groundfilter*.

Utilizou-se a função *Clipdata* para a normalização das alturas, certificando que a coordenada z correspondente à cada árvore foi referenciada com a altura acima do solo e não com a elevação ortométrica do ponto único.

Posteriormente, foi utilizada a função *PolyClipdata* para separar os dados LiDAR dentro de cada uma das 50 unidades amostrais instaladas inicialmente, e com a ferramenta *CloudMetrics* foram calculadas as métricas derivadas do LiDAR usando todos os retornos da nuvem de pontos (Figura 2).

A Função *GridMetrics* foi utilizada para finalizar o processo gerando as mesmas métricas calculadas pelo *CloudMetrics*. A célula de grade teve tamanho de 25 m de resolução espacial para área basal e 5 m para a altura definidas a partir da paisagem. A lista das métricas LiDAR calculadas são apresentadas na Tabela 2.

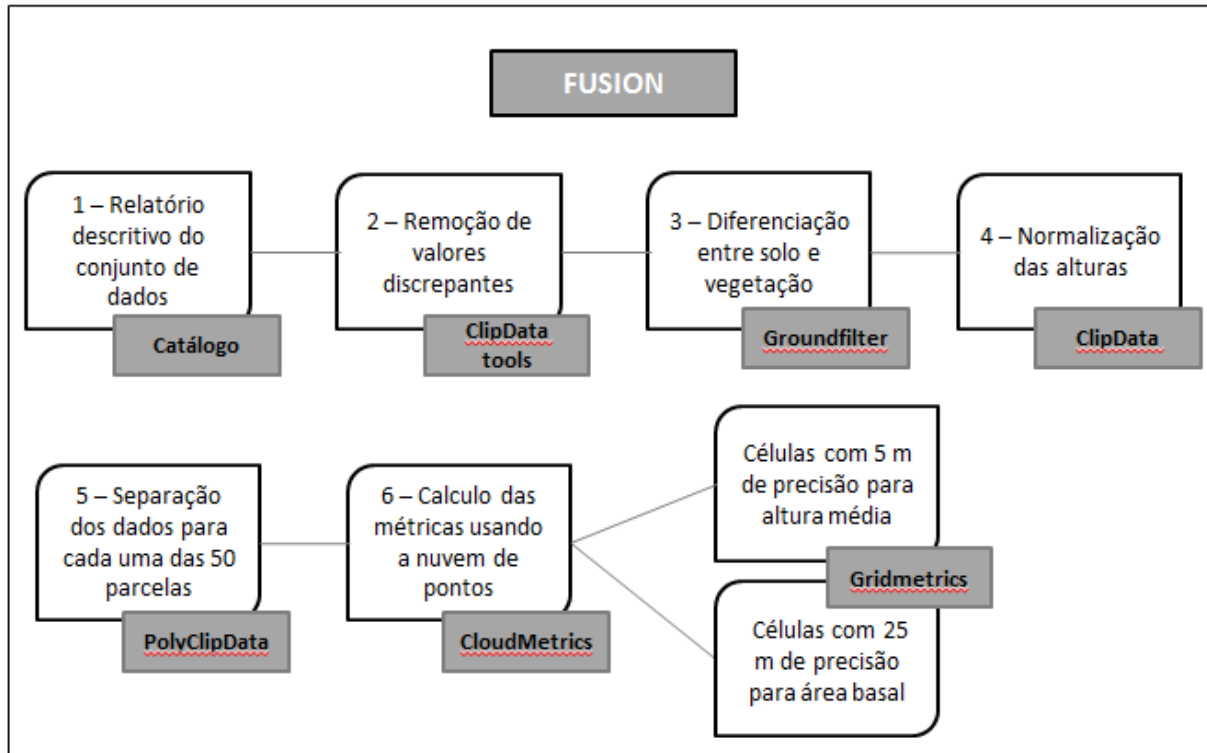


Figura 2: Esquema com resumo do processamento e ferramentas utilizadas com os dados LiDAR.

Figure 2: Scheme with summary of the processing and toll used with LiDAR data.

Tabela 2. Métricas derivadas dos dados LiDAR consideradas como variáveis candidatas para a modelagem de área basal e altura.

Table 2. LiDAR derived metrics considered as candidate variables for basal area and height modeling.

Variável	Descrição
HMIM	Altura mínima
HMAZ	Altura máxima
HMEAN	Altura média
HMAD	Desvio absoluto médio da altura
HSD	Desvio padrão da altura
HSKE	Aspecto da altura
HCURT	Curtose da altura
HCV	Coefficiente de variação da altura
HMODE	Moda da altura
H01TH	1ª altura percentual
H05TH	5ª altura percentual
...	...
H95TH	95ª altura percentual
H99TH	99ª altura percentual
COV	Cobertura do dossel

Modelagem e avaliação da área basal

Para verificação da correlação entre as variáveis ($r > 0,9$) foi utilizado a correlação de Pearson (r). Os preditores redundantes foram excluídos, de forma a não influenciar no modelo preditivo.

Com o software R (R *Development Core Team*, 2015) foi selecionado o melhor subconjunto de variáveis de previsão usando a estatística Mallows Cp (MALLOWS, 1973) determinando assim as melhores métricas dos dados LiDAR.

Posteriormente, foram ajustados modelos de regressão linear em perspectiva, os quais foram avaliados pelo critério de informação de Akaike (AICc) (AKAIKE, 1973; 1974), e classificados a partir do menor AIC. Os resíduos de todos os potenciais modelos foram analisados graficamente e testados quanto a normalidade e heterocedasticidade pelos testes de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) e Breusch-Pagan, (BREUSCH; PAGAN, 1979), respectivamente.

A área basal resultou em uma curva positivamente inclinada, gerando assim, um modelo não adequado perante as premissas estatísticas, portanto o logaritmo natural (\ln) transformado foi aplicado na variável resposta antes da modelagem. O modelo gerado foi avaliado quanto a Correlação de Pearson (r), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) absoluto e relativo.

Para avaliar se o modelo predito foi estatisticamente semelhante aos dados coletados no inventário em campo, foram utilizados testes de equivalência estatística.

A precisão aceitável para o RMSE, foi estipulada em 15%, e com base nos valores de AICc, o melhor modelo foi selecionado e avaliado por meio de uma validação cruzada *leave one out*, também conhecida como estratégia LOOCV.

Com a ferramenta *yalmpute* do software R o melhor modelo foi aplicado em toda a paisagem para mapear a distribuição espacial da área basal de *Pinus taeda* ao nível do suporte.

Seleção de métricas LiDAR e desenvolvimento da modelagem de imputação pra altura

A seleção das métricas LiDAR deu-se em duas etapas principais. Primeiramente, a correlação de Pearson (r) foi utilizada para a identificação as variáveis altamente correlacionadas ($r > 0,9$), como apresentado por Hudak *et al.* (2014) e Silva *et al.* (2014). Se um determinado grupo (2 ou mais) métricas LiDAR estivessem altamente correlacionadas, optou-se pela manutenção de apenas 1 delas.

A segunda etapa utiliza a função *varSelection* do pacote *yalmpute* no software R (CROOSKSTON; FINLEY, 2008) para selecionar as métricas não altamente correlacionadas mais importantes para a modelagem de imputação. A função *VarSelection* calcula a raiz generalizada da distância média quadrada (GRMSD), essas variáveis são adicionadas a um modelo de imputação K-NN. por variáveis. A função *varSelection* também mantém variáveis que fortalecem imputação e exclui variáveis que enfraquecem a imputação.

No estudo, o K-NN imputação foi realizada utilizando o *yai* e *impute.yai*, ambos também do pacote de imputação do R. Muitos métodos de imputação podem ser utilizados para associar observações do alvo e de referência, no entanto, estudos recentes têm demonstrado que a abordagem *Random Forest* (Breiman 2001) geralmente produz melhores resultados em comparação com outros métodos de imputação. Portanto, para este estudo foram utilizadas *Random Forest* baseado nos vizinhos mais próximos para caracterizar as relações entre variáveis de previsão (métricas derivadas do LiDAR) e de resposta utilizados para imputação (hm).

Modelagem de avaliação da altura

A precisão do modelo foi avaliada em termos de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e raiz quadrática média da diferença (RMSD) e pelo VIES (absoluta e relativo). A RMSD é analoga ao RMSE quando utilizada para avaliar um modelo de regressão.

A RMSD (%) e o Viés (%) foram calculados dividindo-se os valores absolutos pela média da variável de resposta e multiplicando por 100.

Finalmente, foi utilizado o função *AsciiGridPredict* também do pacote de *yaTmpute* do R (Crookston e Finley, 2008) para aplicar o modelo em toda a abrangência e para mapear a distribuição espacial da altura.

Geração do Modelo Digital do Terreno e correlação com a área basal e altura média

O modelo digital do terreno (DTM) foi realizado abrangendo 3 classes de declividade, sendo elas: Classe 1 (0 à 10), Classe 2 (10,1 à 20) e Classe 3 (> 20 %). Para analisar a correlação entre a declividade do terreno com os valores das métricas LiDAR para área basal e altura média foram aleatorizadas 20 parcelas para cada classe de declividade, com uso do software ArcGIS 10.4.

Os valores médios extraídos para declividade e altitude foram levados ao *Statgraphics*, onde primeiramente foram obtidos os dados de assimetria e curtose, indicando que os valores tendem a normalidade. Posteriormente foi ajustado um modelo linear generalizado, o qual permite a inclusão de variáveis categóricas e quantitativas. As variáveis independentes, talhão, declividade e altitude foram avaliadas para inclusão nos modelos visando a influencia sobre a área basal e altura média.

RESULTADOS

A Figura 2 apresenta as 3 classes de declividade para os 6 talhões estudados, podendo ser possível visualizar a proporção de área pertencente a cada declividade, as áreas com tons mais escuros, estão com declividade acima de 20%.

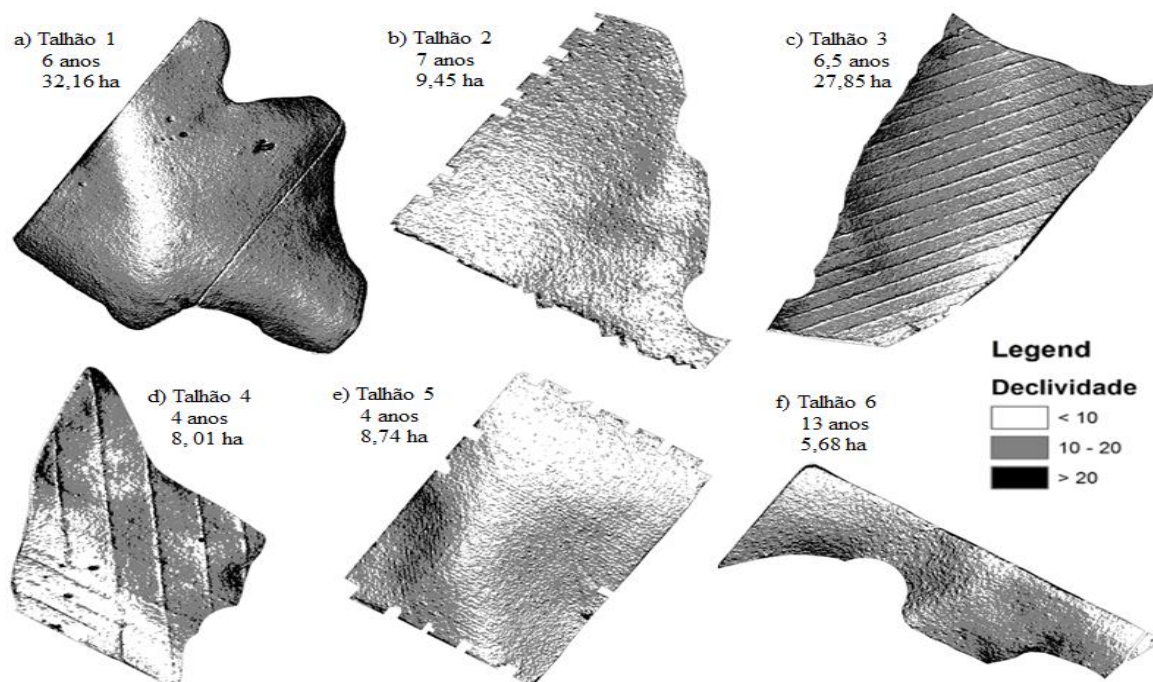


Figura 3. Classes de declividades para os 6 talhões estudados.
Figure 3. Classes of slopes for the 6 stands studied.

Na tabela 3 são apresentados os valores mínimos, máximos, médios e o desvio padrão para as variáveis área basal, altura média, declividade e elevação. Destaca-se que a menor variação encontrada foi para a variável altura média.

Tabela 3. Estatística descritiva para as variáveis área basal, altura média, declividade e elevação do terreno.
Table 3. Descriptive statistics for the basal area, mean height, slope and elevation variables.

	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Área Basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$)	4	59	28,80	2,80
Altura média (m)	6	13	9,71	0,80
Declividade (%)	0,5	65,94	14,05	3,77
Elevação (m)	756,48	951,96	865,73	0,96

Ao analisar os resultados é possível observar pelo ajuste do modelo que as variáveis independentes declividade e elevação, tiveram correlação significativa com os dados de área basal (Tabela 4).

Tabela 4. Estatística do modelo linear generalizado para área basal de *Pinus taeda* L.
Table 4. Statistics of the general linear models for the basal area of *Pinus taeda* L.

Fatores	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	Estat. F	P - valor	R ² aj.	Erro
Talhão	1992,200	4	498,051	66,55	0,0000		
Declividade	103,227	1	103,227	13,79	0,0008		

Elevação	35,2881	1	35,288	4,72	0,0372		
Resíduos	246,977	33	7,4841				
Total (corrigido)	4013,48	39				92,72	2,16

Para a variável altura média, somente a elevação exerce influência sobre os dados com o ajuste do modelo linear generalizado (Tabela 5).

Tabela 5 Estatística do modelo linear generalizado para altura média de *Pinus taeda* L.

Table 5. Statistics of the general linear models for the mean height, the *Pinus taeda* L.

Fatores	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	Estat. F	P - valor	R ² aj.	Erro
Talhão	111,839	5	22,3679	85,14	0,000		
Elevação	2,080	1	2,0833	7,93	0,0081		
Resíduos	8,670	33	0,2627				
Total (corrigido)	127,277	39				91,94	2,13

DISCUSSÃO

Estudos que relacionam o índice de sítio, o qual leva em consideração a altura dominante em suas análises, comumente são realizados em função de variáveis topográficas e de solo, devido a influência desses fatores na qualidade do sítio, que quanto maior for, melhor explica a produtividade da floresta.

Braga (1997) afirma que a fertilidade do solo é mais expressiva sobre o crescimento de uma floresta quando os fatores ambientais como declividade, exposição e posição na toposequência não se encontram nas condições ideais.

Portanto o efeito dos fatores topográficos, como a declividade, são indiretos e mais pronunciados quando as rampas possuem alta inclinação, influenciando sobre a porosidade, permeabilidade, taxa de infiltração de água, erosão e espessura do solo (Barros, 1974; Teixeira, 1987).

Doldán (1987) afirma que o desenvolvimento das plantas é afetado pela altura do lençol freático, o qual é influenciado pela topografia do terreno. Em seu trabalho encontrou uma correlação negativa de -0,75 para o crescimento em altura dominante e codominante para *Pinus taeda* aos 15 anos de idade, conforme o aumento da declividade do terreno.

A conclusão da influência negativa da declividade sobre o crescimento em altura difere com os dados de correlação para altura média do presente estudo, pois quanto maior a declividade, maior também o crescimento em altura.

Ortiz (2003) relata em seu trabalho que a altitude também atua indiretamente no desenvolvimento das plantas, alterando a umidade do ar e do solo, afetando dessa forma a nutrição do solo e formação de raízes das árvores.

O mesmo autor, ao avaliar o potencial produtivo de Eucalipto concluiu que as cotas do terreno e o alumínio são os fatores que mais influenciam indiretamente sobre os resultados.

Essas evidências diferem com os resultados encontrados pelo presente trabalho, quanto maior a elevação do terreno, maior o desenvolvimento em altura média de pinus.

Oliveira (2012) analisou em seu estudo na Amazônia, a utilização de variáveis topográficas em substituição às variáveis de solo para estimativa de biomassa acima do solo, diante da facilidade em obter imagens para os cálculos de inclinação e altitude do terreno, e concluiu que a biomassa total aumentou com a altitude, resultado que possui semelhança com os dados aqui apresentados, onde a elevação influenciou positivamente no crescimento em área basal e altura média.

Os resultados encontrados por Castilho (2014), diferiram em partes dos resultados encontrados por Oliveira (2012) pois ao analisar floresta de terra firme na Amazonia Central, a autora encontrou que a biomassa foi maior com o aumento da altitude e decresceu com o aumento da declividade.

O melhoramento genético aplicado na produção de sementes de *P. taeda*, o preparo do solo e as diferentes idades dos talhões podem explicar a não correlação da declividade com a altura média, sendo recomendado avaliar em futuros trabalhos a influência da declividade sobre áreas adubadas e não adubadas, diante do fato que as variáveis topográficas podem influenciar de forma indireta sobre o desenvolvimento florestal.

CONCLUSÃO

- A declividade conseguiu se correlacionar e explicar apenas os valores de área basal para os talhões estudados.
- A elevação do terreno explica os valores encontrados para área basal e altura média dos talhões de *Pinus taeda*.
- As diferentes idades dos talhões podem ter influenciado nos resultados.
- Os dados LiDAR são uma ferramenta com potencial elevado para aquisição de variáveis dendrométricas e seus estudos devem ser aprimorados.
- Recomenda-se analisar em próximos estudos áreas com e sem regime de adubação e com idades uniformes.

REFERÊNCIAS

AKAIKE, H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In Proceedings of the 2nd International Symposium on Information Theory. Petrov, B.N. and Csake, F. (eds). Akademiai Kiado: 267–281.

AKAIKE, H. 1974 A new look at the statistical model identification. IEEE Trans. Autom. Control 19: 716–723.

BARROS, N. F. 1974. **Contribuição ao relacionamento de características pedológicas e topográficas com altura de *Eucalyptus alba*, na região de Santa Barbara, MG.** 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.

BRAGA, F. A. 1997. **Uso da análise discriminante na identificação de características ambientais determinantes da capacidade produtiva de povoamentos de eucalipto.** 1997. 65f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.

BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. 1979. A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. *Econometrika* 47:1287–1294.

BREIMAN L. 2001. Random Forest. *Mach Learn* 45 (1): 5-32.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. 2006. *Mensuração florestal: perguntas e respostas*. 2.ed. Viçosa: UFV, 470p.

CASTILHO, C. V. 2004. **Variação espacial e temporal da biomassa arbórea viva em 64 km² de floresta de terra – firme na Amazônia Central.** 72f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Universidade Federal do Amazonas. Manaus.

CORAIOLA, M.; NETTO, S. P. 2003. Análise da estrutura dimensional de uma floresta estacional semidecidual localizada no município de Cássia-MG: estrutura volumétrica. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v. 1, n. 3, p. 11-24.

CROOKSTON, N. L.; FINLEY, A. O. 2008. YaImpute: An R Package for kNN Imputation. *J Stat Soft* 23 (10): 1-16.

DOLDÁN, M. A. Q. 1987. **Desenvolvimento da altura dominante de *Pinus taeda* L. como resposta aos estímulos dos fatores do meio, na região de Ponta Grossa.** 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

FERREIRA, C. A.; COUTO, H. T. Z. 1981. A influência das variáveis ambientais no crescimento de espécies/procedências de *Eucalyptus sp.* nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 3, Curitiba, p.06-36.

- GORGENS, E. B.; SILVA, A. G. P.; RODRIGUEZ, L. C. E. 2014. LiDAR: Aplicações Florestais. Curitiba: CRV. 132 p.
- HUDAK, A. T.; HAREN, A. T.; CROOKSTON, N. L.; LIEBERMANN, R. J.; OHMANN, J. L. 2014. Imputing Forest Structure Attributes from Stand Inventory and Remotely Sensed Data in Western Oregon, USA. **For Sci**, 60(2): 253:269.
- KRAUS, K. PFEIFER, N. 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. **ISPRS J Photogramm Remote Sens**; 53: 3193-3203.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. 1928. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. 2003. **Dendrometria**. Curitiba: Editorado pelos autores. 309 p.
- MALLOWS, C. L. 1973. Some comments on Cp. *Technometrics*, Milwaukee, v. 15, n. 4, p. 661–675.
- MARTINS NETO, R. P. 2011. **Extração de variáveis dendrométricas em árvores de Pinus taeda L. a partir de dados TLS e ALS**. 187f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages.
- NAESSET, E. 2007. Airborne laser scanning as a method in operational forest inventory: Status of accuracy assessments accomplished in Scandinavia. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 22, n. 5, p. 433-442, 2007.
- NOVO; E. L. M. 1989. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgar Blucher, 308 p.
- OLIVEIRA, L. L. 2012. **Interações da estrutura da vegetação com a topografia e solo na Floresta Nacional do Amapá**. 103f. Tese (Doutorado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Amapá. Macapá.
- ORTIZ, J. L. 2003. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e relevo**. 205f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba.
- R Development Core Team. 2015. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/>
- RODRIGUEZ, L. C. E.; POLIZEL, J. L.; FERRAZ, S. F. B.; ZONETE, M. F.; FERREIRA, M. Z. 2010. Inventário florestal com tecnologia aerotransportada de plantios de Eucalyptus spp. no Brasil. **Ambiência Guarapuava**, v. 6, p. 67 - 80.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. 1965. An analysis of variance test for normality(complete samples). *Biometrika*, 52: 591–611.
- SILVA, C. A.; KLAUBERG, C.; CARVALHO, S. P. C.; HUDACK, A. T.; RODRIGUEZ, L. C. E. 2014. Mapping aboveground carbono stocks using LiDAR data in *Eucalyptus* spp. plantations in the state of São Paulo, Brasil. **Scien For** 42 (104): 591-604.
- TEIXEIRA, J. L. 1987. **Conteúdo de nutrientes e produção de eucalipto em diferentes ambientes do Rio Doce, MG**. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.
- ZANDONA, D. F. 2006. **Potencial uso de dados laser scanner aerotransportado para estimativa de variáveis dendrométricas**. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- ZONETE, M. F. 2009. **Análise do uso da tecnologia laser aerotransportado para inventários florestais em plantios clonais de Eucalyptus sp no sul da Bahia**. 2009. 95f. Dissertação (Mestrado em Recursos florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.