

Uso de imagens aéreas obtidas por VANT para avaliação da cobertura do dossel e produtividade de plantio de eucalipto manejado por talhadia

Eduardo Moré de Mattos ¹
José Henrique Tertulino Rocha ²
Arthur Vrechi ¹
José Henrique Bazani ¹
Marina Shinkai Gentil Otto ¹
Nazir Hussni ²
Enrico Vecchioli ²
José Leonardo de Moraes Gonçalves ²

¹ 4tree agroflorestal
Rua Tiradentes, 435, CEP.: 13400-760 - Piracicaba - SP, Brasil
eduardo@4tree.com.br; arthur@4tree.com.br; bazani@4tree.com.br; marina@4tree.com.br

² Universidade de São Paulo - USP/ESALQ
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Piracicaba - SP, Brasil
rocha.jht@gmail.com; nazirfghussni@gmail.com; enrico.lima@usp.br; jlmgonca@usp.br

Abstract. Coppicing is a low-cost management system which can ensure the wood productivity and consequently improve competitiveness of Brazilian wood products. Stocking at the end of the first rotation is commonly used as a decision support criteria about coppicing or replanting the stand. However, the interactions of initial stocking and compensation practices (management of sprouts) over the productivity is yet to be understood. It is largely known that leaf area drives productivity, especially in young stands. From this perspective, unmanned aerial vehicles (UAV) could provide high quality imagery that can be used to assess canopy cover over areas subject to coppice regime and support management decisions. Therefore, our objective is to assess the effectiveness of this images in estimating canopy cover, as well as to check the relationships between canopy cover and productivity in a coppice experiment on a third rotation *Eucalyptus grandis* plantation at the São Paulo state. Sprout thinning was conducted 18 months after the clear cut of the previous rotation, the aerial images were taken 7 months after that, or 25 months after clear cut. Forest inventory was conducted one month after the survey in order to match the measurements. Although lower stocking plots were able to compensate canopy cover differences through individual stem increment, canopy cover were highly dependent on stocking ($R^2=0.71$, $p<0.001$) and also highly correlated ($R^2=0.99$, $p<0.001$) with stand production, these findings support the usage of aerial images to help management decisions.

Palavras-chave: índice de cobertura do dossel, talhadia, veículo aéreo não tripulado (VANT), canopy cover, coppice, unmanned aerial vehicle (UAV).

1. Introdução

Até a crise econômica de 2008, o sistema de manejo por talhadia era praticado de forma menos frequente entre as empresas florestais, apesar de ser um sistema muito utilizado por pequenos e médios proprietários rurais. A formação de novos plantios após a primeira rotação (reforma) vinha sendo o sistema de manejo mais adotado, incentivado pelo desenvolvimento de materiais genéticos superiores, que garantissem maiores produtividades, qualidade da madeira superior e/ou melhor adaptação às condições edafoclimáticas específicas de cada região (Gonçalves et al., 2015).

Diante do atual contexto econômico e com ganhos cada vez mais decrescentes nos patamares de produtividade dos plantios, os benefícios da talhadia voltaram a ser discutidos para superar a crise e reduzir os custos de produção de madeira no país. Assim, o manejo por talhadia passou a receber mais atenção entre os silvicultores e pesquisadores, constituindo-se novamente em uma opção de manejo florestal com bom retorno econômico.

A evolução do melhoramento genético e das técnicas de manejo silvicultural permitiu elevar a produtividade das plantações de eucalipto em segunda rotação de cultivo ou subsequentes, garantindo níveis de produtividade semelhantes ou até mesmo superiores aos obtidos na primeira rotação (Gonçalves et al., 2014). Um dos fatores que influenciam a produtividade das plantações conduzidas por talhadia é o percentual de falhas ou densidade de fustes presentes ao final da rotação. Contudo, o percentual máximo aceitável de falhas para condução de uma floresta (que não acarrete em perdas de produtividade) ainda é bastante discutido (Arthur Junior et al. 2015).

Uma estratégia para manter o número de fustes por hectare é a compensação de falhas. Esta técnica consiste na recuperação da densidade inicial de plantio por meio do manejo do número de fustes conduzidos por cepa, como por exemplo a manutenção de dois fustes na cepa vizinha a uma falha. Entretanto pouco se sabe sobre a efetividade dessa técnica na continuidade do dossel e consequentemente na produtividade da floresta.

Neste aspecto, imagens aéreas obtidas com o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs ou DRONES) podem auxiliar na avaliação do nível de ocupação do dossel de um talhão, sendo de interesse tanto do ponto de vista experimental, quanto em áreas de produção. Estas imagens também podem ser utilizadas para avaliação do percentual de falhas, ajudando na tomada de decisão quanto à condução ou reforma do talhão.

Desta forma, avaliou-se com o presente estudo, o efeito da compensação de falhas e do número de fustes no grau de cobertura do dossel de uma plantação de *Eucalyptus grandis* conduzida sob o manejo de talhadia, por meio do uso de imagens obtidas por um VANT. Correlacionou-se, também, este índice aos valores provenientes do inventário florestal.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Descrição do experimento

O experimento encontra-se instalado na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga – SP (23°06' S e a 48°36' W e 857 m de altitude), pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP). O clima da região é o Cfa, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 19,4 °C, sendo a média do mês mais frio (julho) 15,6 °C e a média do mês mais quente (janeiro) 22,3 °C. A precipitação média anual é de 1319 mm, com 75% concentrada nos meses de outubro a março (Alvares et al., 2013). O relevo local é plano a suave ondulado, e o solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, distrófico, de textura média.

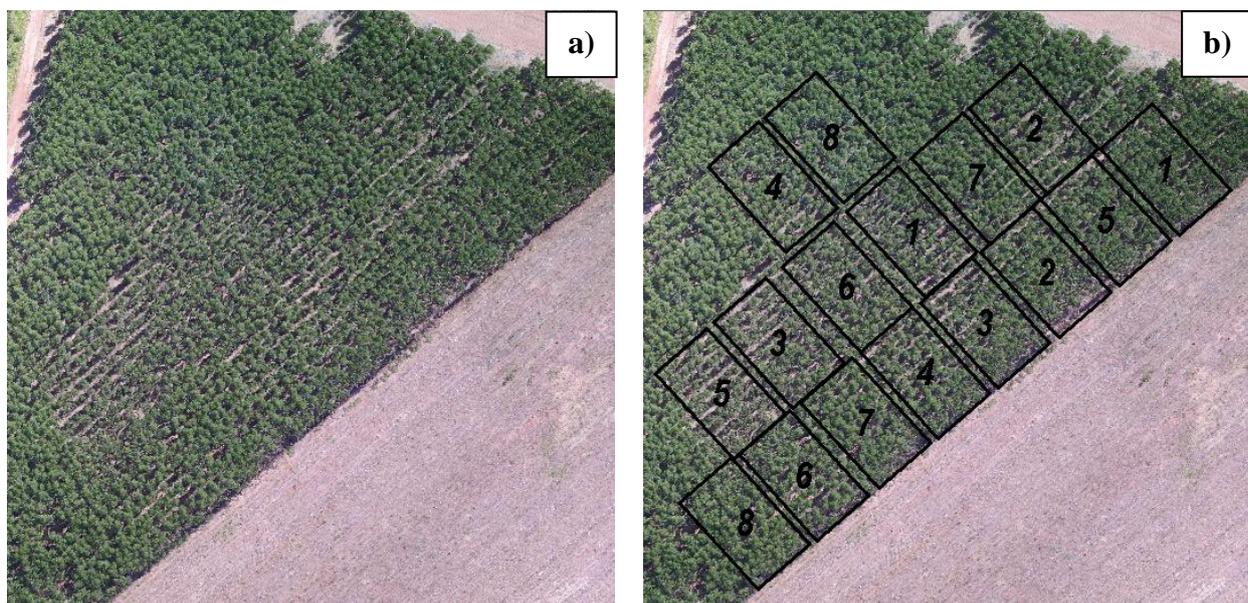
O experimento foi instalado após o corte raso de um plantio comercial com um clone de *Eucalyptus grandis*. Esse talhão foi plantado em setembro de 2000 no espaçamento de 3,0 m x 1,8 m. O corte raso da primeira rotação foi realizado em setembro de 2007, com produtividade de 43 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, sendo posteriormente conduzido à segunda rotação. Aos 12 meses após o corte raso foi realizada a desbrota, mantendo 1 fuste por cepa, com compensação de falhas (mantendo dois fustes na cepa ao lado de uma falha). A segunda rotação foi colhida em abril de 2014, com produtividade de 53 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Aos 18 meses após o corte raso da segunda rotação, foi efetuada a desbrota e aplicação dos tratamentos para condução da terceira rotação. A área foi fertilizada em nível suficiente para garantir o pleno crescimento da floresta sem deficiência nutricional. A área vem sendo mantida livre de plantas daninhas, tendo sido aplicado herbicida em área total 2 meses antes da obtenção das imagens para garantir a inexistência de plantas daninhas.

O delineamento experimental conta com 8 tratamentos espalhados ao acaso em 4 blocos. As parcelas são formadas de 12 linhas de 12 plantas, sendo as avaliações realizadas nas 64 internas, respeitando bordadura dupla. Abaixo encontra-se descrição dos tratamentos aplicados:

1. 1B 10% SC = Manutenção de um broto por cepa, em uma área com 10 % de falhas, sem compensação (stand de 1667 fustes por ha);
2. 1B 10% CC = Manutenção de um broto por cepa, em uma área com 10 % de falhas, com compensação (stand de 1852 fustes por ha);
3. 1B 20% SC = Manutenção de um broto por cepa, em uma área com 20 % de falhas, sem compensação (stand de 1482 fustes por ha);
4. 1B 20% CC = Manutenção de um broto por cepa, em uma área com 20 % de falhas, com compensação (stand de 1852 fustes por ha);
5. 1B 30% SC = Manutenção de um broto por cepa, em uma área com 30 % de falhas, sem compensação (stand de 1296 fustes por ha);
6. 1B 30% CC = Manutenção de um broto por cepa, em uma área com 30 % de falhas, com compensação (stand de 1852 fustes por ha);
7. 2B 10% SC = Manutenção de dois brotos por cepa, em uma área com 10 % de falhas, sem compensação (stand de 3334 fustes por ha);
8. SD 10% SC = Manutenção de todos os brotos na cepa, em uma área com 10 % de falhas, sem compensação (stand entre 2500 e 4000 fustes por ha);

2.2 Obtenção e processamento das imagens

As imagens foram obtidas em abril de 2016 com o auxílio do VANT modelo DJI Phantom 3 Advanced, equipado com câmera fotográfica Sony EXMOR 12.4 megapixels (www.dji.com). O voo foi configurado para capturar 70% de sobreposição frontal e lateral das imagens a uma altitude de 120 m acima do solo. O ortofotomosaico (Figura 1a) foi gerado pela técnica de identificação de pontos homólogos e triangulação usando o serviço online “*Maps Made Easy*” (www.mapsmadeeasy.com). Com o auxílio do software ArcGIS 10.3 (ESRI, 2015), o croqui do experimento foi georreferenciado (Figura 1b) e quatro classes de ocupação do solo foram identificadas, sendo elas: copas, sombras, resíduos e solo exposto. Cerca de 20 amostras foram tomadas por classe para treinamento, e o método de classificação supervisionada foi aplicado sobre toda a imagem. Após o processamento, foram extraídos apenas os pixels que se encontravam dentro das parcelas alvo (Figura 1c e 1d).



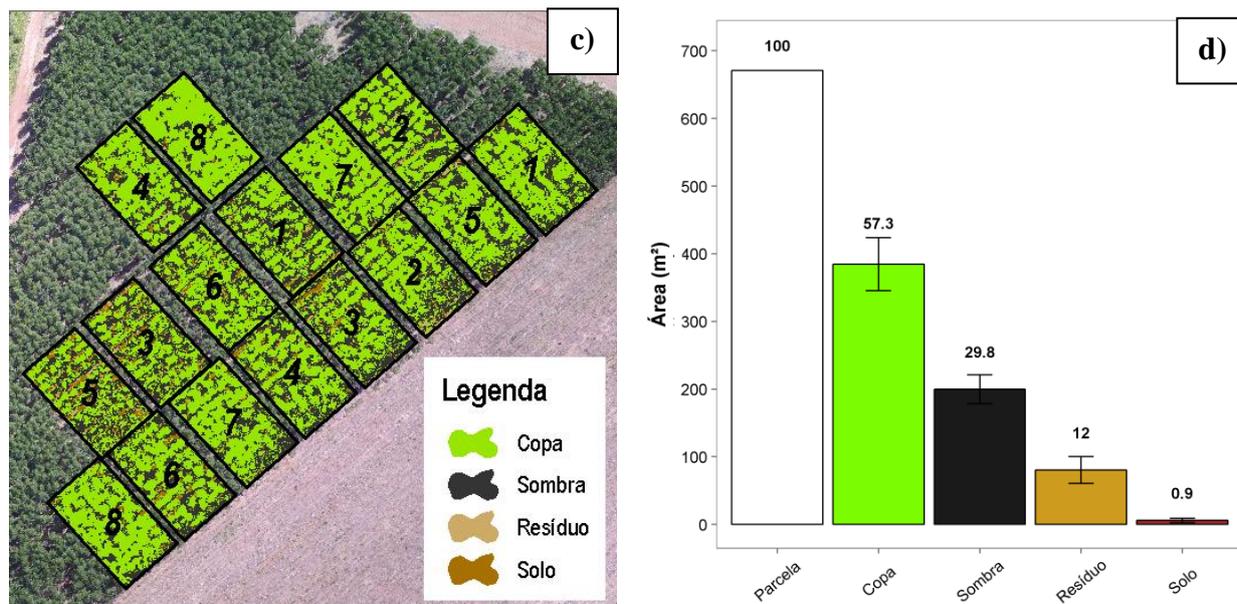


Figura 1. Etapas do processamento das imagens. Ortomosaico de alta resolução (a). Croqui georreferenciado (b). Resultado da classificação supervisionada (c). Comparação entre a ocupação por categoria (valores absolutos e percentuais), as barras representam o erro padrão da média dos valores por parcela.

2.3 Inventário Florestal

O diâmetro a altura do peito (DAP, cm) e a altura total (H, m) de todos os fustes com DAP superior a 5 cm foram medidos 8 meses após a desbrota (27 meses após o corte raso). O DAP foi medido com auxílio de um fita diamétrica metálica e a altura total com auxílio do clinômetro Vertex IV. O DAP e a altura foram utilizadas como variáveis independentes para a estimativa do volume de madeira com casca por meio do modelo de Schumacher e Hall (1933), Equação 1. Os parâmetros utilizados foram estimados por Rocha (2014) para essa mesma espécie e idade em uma área adjacente ao experimento.

$$V_{cc} = 5,259 \cdot 10^{-5} \cdot DAP^{1,828} \cdot H^{1,043} \quad (1)$$

2.4 Análise dos Dados

As análises foram desenvolvidas com o auxílio do software estatístico R (R Core Team, 2016). Os dados de densidade de fustes (N_{fuste} – fustes ha^{-1}) e grau de cobertura relativa das copas (Cobertura do dossel - %) foram submetidos à análise de variância considerando os efeitos principais e a interação entre níveis de intensidade inicial de falhas (alta, média e baixa) e os níveis de compensação de falhas (com e sem). O tratamento completamente sem manejo da rebrota (SD – sem desbrota) foi utilizado como tratamento adicional na análise (Ferreira et. al., 2013). Todos os dados foram verificados quanto à normalidade de resíduos e homocedasticidade, em virtude de violação das pressuposições, os dados de N_{fuste} foram transformados de acordo com o método Boxcox implementado no pacote MASS (Venables e Ripley, 2002). Em todas as análises adotou-se significância ao nível de 5% probabilidade e o teste de Tukey foi utilizado para comparação entre as médias de grupos em caso de efeitos significativos. Por meio da função *lm*, análises de regressão linear foram utilizadas para verificar a influência de N_{fuste} sobre a cobertura do dossel. Da mesma maneira, a cobertura do dossel foi relacionada ao volume total de madeira com casca ($VTCC$ – $m^3 ha^{-1}$). O modelo linear simples, logarítmico e inverso foram testados para verificação do melhor ajuste, a

comparação se deu por meio dos valores do Teste-F do modelo (F), do critério de informação de Akaike (AIC), do coeficiente de determinação (R^2) e do erro padrão da estimativa (S_{yx}).

3. Resultados e Discussão

Depois das copas, classificadas em 57,3 % dos pixels avaliados, o nível de sombra (29,8%) foi a segunda categoria mais reconhecida, seguida da cobertura de resíduos vegetais (12%) e solo exposto (0,9%). Apesar do elevado nível de sombra, maiores valores de sombreamento foram consistentes com parcelas de baixa sobrevivência. As imagens foram tomadas em um dia ensolarado aproximadamente ao meio dia, buscando mitigar este efeito, coletas em dias completamente nublados poderiam minimizar ainda mais a presença de sombras na imagem.

Mesmo após a quebra e mortalidade de brotos ocasionada por ventos após a instalação do ensaio, o delineamento experimental foi eficaz em distinguir estatisticamente os três níveis de competição inicial que em média foram de 1432, 1367, 1259 fustes ha^{-1} para os tratamentos com baixa, média e alta intensidade de falhas, do grupo de parcelas sem compensação. Como esperado, o método de compensação aplicado aproximou à densidade de fustes (média de 1717 fustes ha^{-1}) prescrita na primeira rotação, equiparando o nível de densidade de fustes entre as parcelas com diferentes intensidades de falhas (Figura 2).

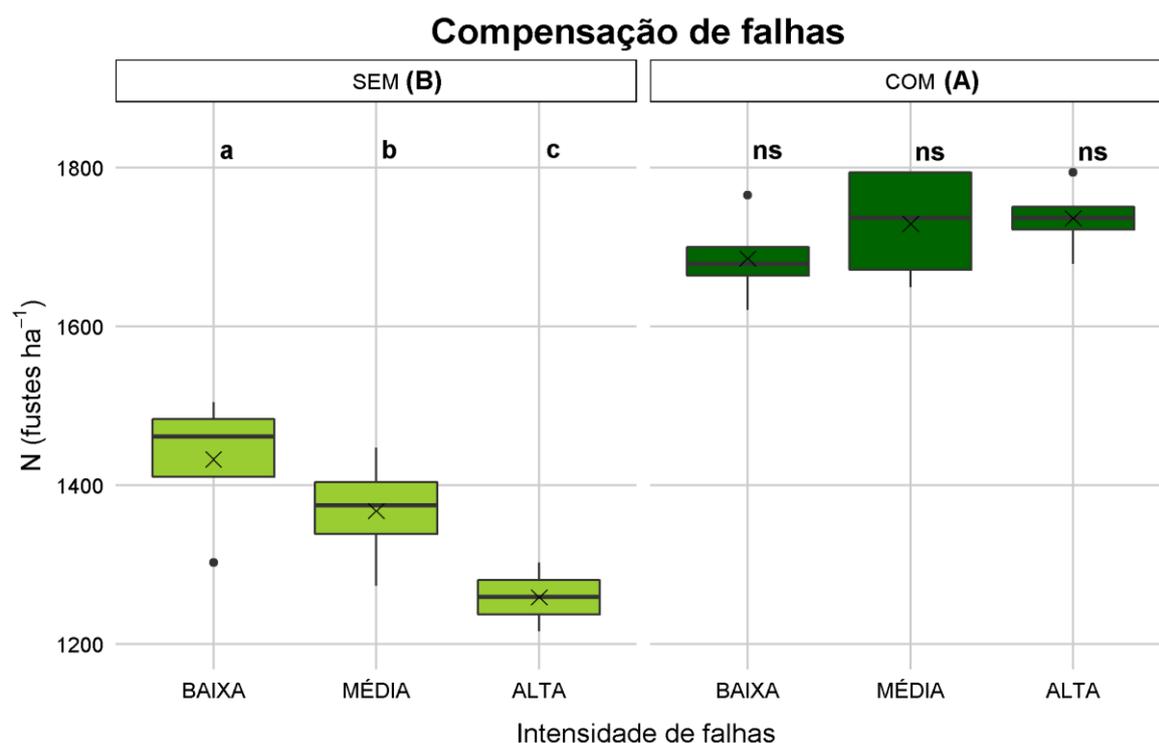


Figura 2. Gráficos de caixa demonstrando os valores de densidade de fustes entre os níveis de compensação de falhas e intensidade inicial de falhas. As letras representam diferenças estatisticamente significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

O tratamento sem manejo foi superior a todos os tratamentos aplicados (p -valor $< 0,001$) com uma média de 3292 fustes ha^{-1} , tendo o tratamento com manutenção de dois brotos por cepa alcançado o patamar de 2474 fustes ha^{-1} .

Mesmo quando em menor densidade de fustes, os tratamentos com elevada intensidade de falhas foram capazes de compensar a grau de ocupação do dossel pelas copas graças à expansão do tamanho individual dos fustes. Campoe et al. (2013) demonstraram que maior será o volume individual quanto maior for a área foliar. Dentro do conjunto de parcelas onde não houve compensação, o volume individual dos fustes foi, em média, 9% superior no tratamento com maior intensidade de falhas em relação ao tratamento de baixa intensidade. Contudo, graças à maior densidade de fustes imposta inicialmente via compensação, a expansão do tamanho individual reduziu, mas não extinguiu as diferenças entre os grupos com (55,8%) e sem (49,8%) compensação de falhas (Figura 3).

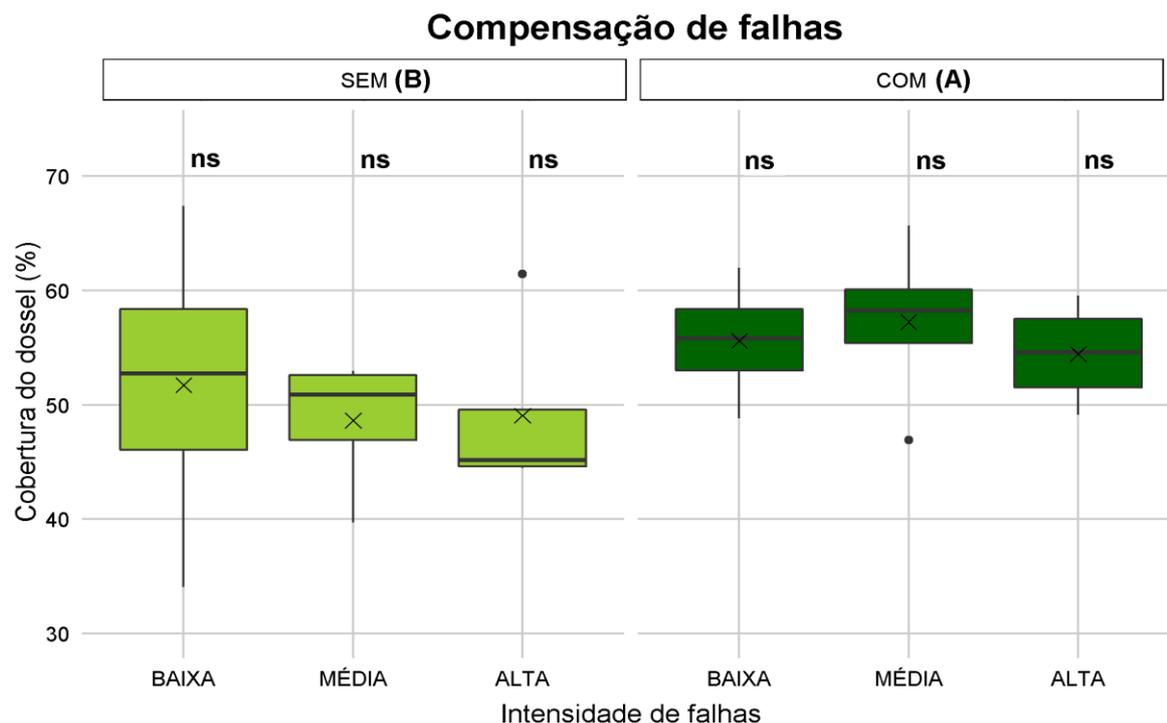


Figura 3. Gráficos de caixa demonstrando os valores de grau de cobertura do dossel pelas copas entre os níveis de compensação de falhas e intensidade inicial de falhas. As letras representam diferenças estatisticamente significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Os tratamentos adicionais também apresentaram maior grau de cobertura do dossel, sendo a média do tratamento com manutenção de dois brotos igual a 64,4% contra 77,6% para o tratamento sem desbrota. Assim, a cobertura do dossel foi modelada em função da densidade de fustes utilizando o modelo logarítmico descrito na tabela 1. O modelo linear foi escolhido no caso da relação cobertura do dossel e estoque de madeira, como o intercepto se mostrou estatisticamente diferente de zero (p -valor = 0,91), o modelo foi reajustado com a remoção deste termo. Os modelos escolhidos apresentaram maiores valores para das estatísticas F e R^2 , além de menores valores de AIC e erro padrão da estimativa ($S_{y,x}$). A figura 4 dispõe os modelos selecionados.

Tabela 1. Resumo das estatísticas dos modelos de regressão ajustados. β_0 e β_1 são os coeficientes do modelo acompanhados do valor de significância associado. Os modelos selecionados encontram-se destacados em negrito.

Preditor	Resposta	Modelo	β_0	β_1	F	AIC	R ²	S _{yx}	
N _{fuste} (fustes ha ⁻¹)	Cobertura do dossel (%)	$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon_i$	30,09 ***	0,01 ***	72,8	213,3	0,71	6,4	
		$y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) + \varepsilon_i$	-178,85 ***	31,56 ***	74,9	212,7	0,71	6,3	
		$y = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{x}\right) + \varepsilon_i$	93,04 ***	-60859,01 ***	66,8	215,3	0,69	6,6	
Cobertura do dossel (%)	VTCC (m ³ ha ⁻¹)	$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon_i$	1,03 ^{0,91}	1,32 ***	74,2	241,6	0,71	9,9	
		$y = \beta_1 x + \varepsilon_i$	-	-	1,34 ***	2057	239,6	0,99	9,8
		$y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) + \varepsilon_i$	-224,04 ***	74,67 ***	67,1	243,8	0,69	10,3	
		$y = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{x}\right) + \varepsilon_i$	146,98 ***	-3866,44 ***	52,5	249,1	0,64	11,2	

*** *p*-valor < 0,001

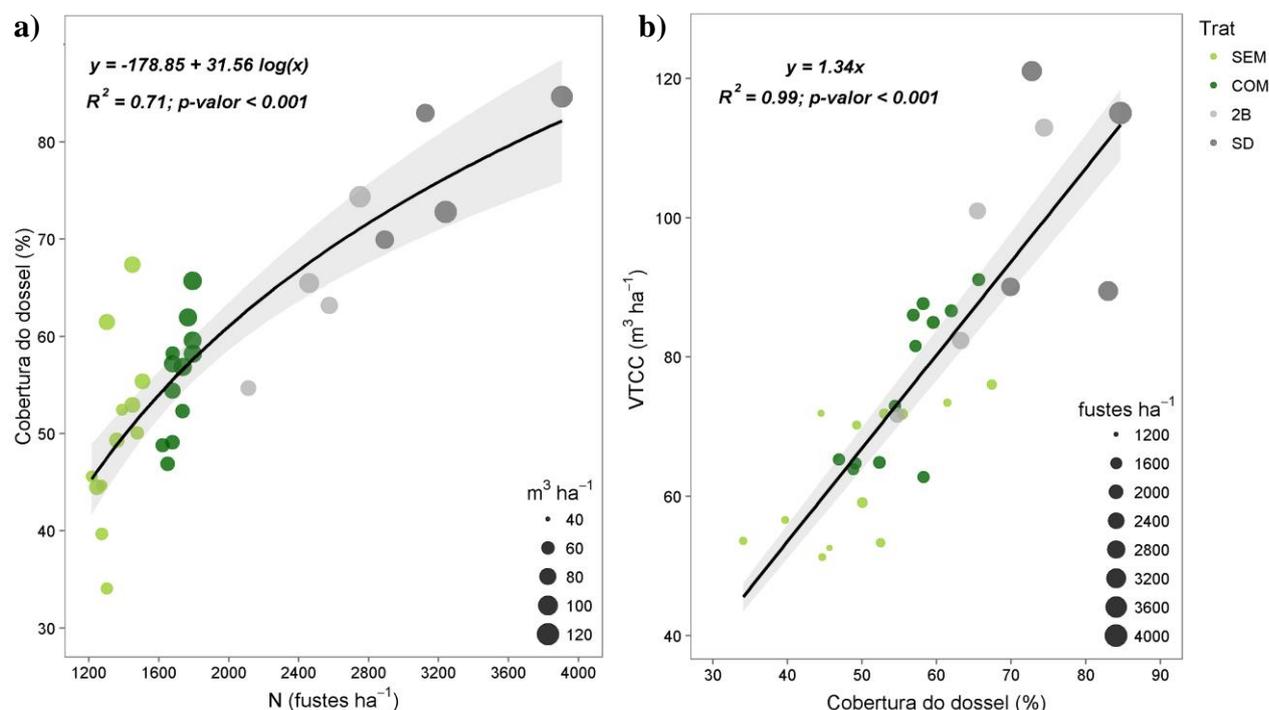


Figura 4. Visualização das relações entre densidade de fustes e grau de cobertura do dossel (a) e desta com o estoque de madeira com casca (b). A porção sombreada no gráfico representa o intervalo de 95% de confiança.

4. Conclusões

Imagens aéreas de alta resolução obtidas via veículos aéreos não tripulados podem ser uma excelente alternativa para nortear as decisões silviculturais de se conduzir ou não um talhão a duas ou mais rotações. O grau de cobertura das copas está intimamente ligado à produtividade de plantios jovens e pode ser monitorado facilmente com o uso das novas tecnologias de captura e processamento de imagens. Na idade avaliada, a cobertura de copas apresentou excelente correlação com a densidade de fustes e produtividade de plantios de eucalipto em terceira rotação.

Agradecimentos

Às Estações Experimentais de Ciências Florestais pelo suporte à instalação e condução do experimento, ao Programa Temático de Silvicultura e Manejo (PTSM) vinculado ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) e ao Grupo de Apoio à Pesquisa e Extensão (GAPE) por conceder o VANT utilizado para o levantamento das imagens.

Referências Bibliográficas

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Moraes, J.L.M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

Arthur Junior, J. C.; Hakamada, R. E.; Bazani, J. H.; Rocha, J. H. T.; Melo, E. A. S. C.; Gonçalves, J. L. M. Anais da 48ª Reunião Técnico-Científica do Programa Cooperativo sobre Silvicultura e Manejo “Manejo da brotação de eucalipto para produção de madeira”. **Série Técnica IPEF** v. 21, n. 42, novembro, 2015.

Campoe, O. C.; Stape, J. L.; Nouvellon, Y.; Laclau, J-P.; Bauerle, W.; Binkley, D.; le Maire, G. Stem production, light absorption and light use efficiency between dominant and non-dominant trees of *Eucalyptus grandis* across a productivity gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 288, p. 14-20, 2013.

ESRI – Environmental Systems Research Institute, Inc. ArcGIS Professional GIS for the desktop, version 10.3. Software. 2015.

Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., Nogueira, D. A. ExpDes: Experimental Designs package. R package version 1.1.2. 2013.

Gonçalves, J. L. M.; Alvares, C. A.; Behling, M.; Alves, J. M.; Pizzi, G. T.; Angeli, A. Produtividade de plantações de eucalipto manejadas nos sistemas de alto fuste e talhadia, em função de fatores edafoclimáticos. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 103, p. 411-419, 2014.

Gonçalves, J. L. M.; Rocha, J. H. T.; Bazani, J. H.; Hakamada, R. E. Nutrição e adubação da cultura do eucalipto manejada no sistema de talhadia. In.: Arthur Junior, J. C.; Hakamada, R. E.; Bazani, J. H.; Rocha, J. H. T.; Melo, E. A. S. C.; Gonçalves, J. L. M. Anais da 48ª Reunião Técnico-Científica do Programa Cooperativo sobre Silvicultura e Manejo “Manejo da brotação de eucalipto para produção de madeira”. **Série Técnica IPEF** v. 21, n. 42, novembro, 2015.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, 2016. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em 25.10.2016.

Rocha, J. H. T. **Reflexos do manejo de resíduos florestais na produtividade, nutrição e fertilidade do solo em plantações de *Eucalyptus grandis***. 2014. 123 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2014.

Schumacher, F.X.; Hall, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

Venables, W. N.; Ripley, B. D. **Modern Applied Statistics with S**. 4 ed. Springer, New York. 2002.