

Estratificação hipsométrica em classes de sítio e de altura total em plantios clonais de eucaliptos

Rodrigo Otávio Veiga de Miranda^{1*} Hassan Camil David¹ Ângelo Augusto Ebling¹ Rômulo Môra² Luan Demarco Fiorentin¹ Izabele Domingues Soares¹

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Av. Prof. Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, 80210-170, Curitiba-PR, Brasil.

² Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança, 78060-900, Cuiabá-MT, Brasil.

* Author for correspondence: rov_miranda@yahoo.com.br

Received: 29 September 2014 / Accepted: 15 December 2014 / Published: 31 December 2014

Resumo

O emprego da relação hipsométrica no processamento de inventários florestais é uma atividade muito comum, na qual deve ser realizada de modo a resultar estimativas precisas e livres de tendências. Uma tentativa de aumentar a precisão das estimativas de altura é adotar variáveis de estratificação. O objetivo foi testar critérios de estratificação da relação hipsométrica para povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. Os dados foram provenientes de parcelas de inventário florestal contínuo de plantios de híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden × *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, localizados no nordeste do estado da Bahia, com idades variando de 27 a 78 meses, medidas nos anos de 2007 a 2010. As alturas das árvores foram estimadas considerando a base de dados sem estratificação. Ainda, foram obtidas estimativas para essa variável considerando os dados estratificados em classes de sítio e de altura dentro de cada sítio. O modelo hipsométrico de Scolforo foi o mais adequado para estimar a altura total à base de dados sem estratificação e nos diferentes estratos. O ajuste aos dados sem estratificação gerou estimativas precisas e razoavelmente livres de tendência. A estratificação proporcionou estimativas com precisão próximas ao ajuste sem estratificação. Considerando toda a base de dados e em termos de precisão, os melhores resultados são obtidos ao se estratificar adotando classes de altura em cada sítio.

Palavras-chave: Estratos; Inventário florestal; Relação hipsométrica.

Hypsometric stratification by site and total height classes of *Eucalyptus* clonal plantations

Abstract

The employment of hypsometric relation in the forest inventory processing is a very common activity, which must be performed so that results in accurate and unbiased estimations. An attempt to increase the estimate accuracy of height is to adopt variables for stratification. The aim was to test stratification criteria of hypsometric relation in *Eucalyptus* sp. clonal stands. Database came from plots of continuous forest inventory of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden × *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake hybrid planting, located in northwest of Bahia state, Brazil, whose ages ranged from 27 to 78 months, measured from year 2007 up to 2010. Tree heights were estimated employing the database without stratification and after, we estimated the heights considering site classes and height within each site as stratification criteria. Scolforo's hypsometric model was the most appropriate to estimate the total height either without stratification or with stratification of data. The modelling at data without stratification generated accurate and reasonably unbiased estimations, while the stratifications provided accurate estimates close to the fitting without stratification. Considering the whole database and

regarding to accuracy issues, the modelling by height classes at each site provides the best results.

Key words: Strata; Forest inventory; Hypsometric relation.

Introdução

Nos levantamentos realizados em povoamentos florestais equiâneos, uma das variáveis de maior interesse é o volume. Essa é a variável de maior importância para o conhecimento do potencial disponível em um povoamento florestal, visto que o volume contribui na avaliação do estoque de madeira e análise do potencial produtivo das florestas (Thomas et al. 2006). Dentre os métodos de se avaliar o volume de árvores, é muito comum o uso de equações volumétricas de dupla entrada, cujo volume é obtido ao se relacionar com o diâmetro à altura do peito (d) e a altura (h) da árvore (total ou comercial), como pode ser visto nos trabalhos de Araújo et al. (2012), Schröder et al. (2013) e Drescher et al. (2014).

Na ocasião da coleta de dados para inventários florestais, geralmente são medidos os diâmetros de todas as árvores da parcela e as alturas de algumas dessas. Isso possibilita redução de custo e tempo das medições, visto que alguns problemas podem ocorrer, como falta de visibilidade do topo da árvore em povoamentos densos, bem como a ocorrência de ventos, sobretudo em plantios de eucalipto (Binoti et al. 2013). Para as demais árvores, a altura é obtida por meio de equações hipsométricas (Thiersch et al. 2013). Essa metodologia é bastante empregada em florestas equiâneas e apresenta boa precisão em razão da homogeneidade dos plantios (Curto et al. 2014).

Relações hipsométricas são afetadas pela espécie, posição sociológica, idade, tamanho de copa, densidade, sítio e práticas silviculturais (Machado et al. 2008). Desta forma, a inclusão de características do povoamento nos modelos hipsométricos, como idade e índice de sítio, resulta obter estimativas mais precisas e com maior realismo biológico, o que torna a aplicação da equação mais abrangente (Binoti et al. 2013), cujas características do povoamento se restrinjam aos limites de variação das variáveis dependente e independentes dessa equação.

A estratificação de uma floresta ou povoamento florestal refere-se à distinção de áreas ou grupos com características semelhantes, incluindo as características dendrométricas, baseada em uma ou mais variáveis e critérios predeterminados (Miranda 2012). Busca-se, com isso, uma redução na variabilidade da variável de interesse dentro de cada um dos estratos.

Muitas variáveis podem ser utilizadas como fator estratificador. Todavia, conforme Péllico Netto e Brena (1997), sempre que possível, a base para estratificação deve ser a variável principal a ser estimada no inventário. Variáveis que podem ser empregadas para a estratificação de equações hipsométricas em povoamentos equiâneos são o sítio, diâmetro, densidade de plantio, idade, material

genético, prática silvicultural, além da própria variável altura. Outras formas de estratificação para ajustes de modelos hipsométricos são vistos em Curto et al. (2013). Os autores revisaram diferentes metodologias de estratificação de altura em Floresta Estacional Semidecidual, na Floresta do Rosal, localizada no município de Guaçuí-ES.

Diante do exposto, o objetivo foi verificar o potencial da estratificação em classes de sítios e de altura total nas estimativas de alturas de árvores em plantios clonais de *Eucalyptus* sp., localizados na região nordeste do estado da Bahia.

Material e Métodos

Os dados foram provenientes de uma rede de parcelas permanentes de um inventário florestal contínuo, estabelecida em plantios de híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, com área útil por planta de 9,0 m², localizados na região nordeste do estado da Bahia. O total de parcelas empregadas foi de 1.119, com idades variando de 27 a 78 meses, medidas nos anos de 2007 a 2010.

As parcelas foram distribuídas de maneira aleatória, proporcionando uma intensidade de amostragem de, aproximadamente, uma parcela a cada 12,5 ha. As parcelas foram circulares, com raio de 12,25 m. Foram medidos os diâmetros à altura do peito (d – 1,3 m do solo) com casca de todas as árvores da parcela, a altura total (h) das 15 primeiras árvores e altura total das cinco árvores dominantes (h_{dom}), segundo a metodologia proposta por Assmann (1970).

Para estimar a altura total daquelas árvores das parcelas que não obtiveram essa variável determinada em campo, foram utilizados modelos hipsométricos. Os modelos empregados estimaram a altura total em função do diâmetro, da altura dominante, do diâmetro quadrático e da idade, conforme apresentado na Tabela 1.

Os modelos hipsométricos foram ajustados a todo o conjunto de dados, isto é, sem estratificação. Os resultados dos mesmos foram ainda avaliados ao se estratificar em classes de índice de sítio. Três classes de sítio foram determinadas (sítios 1, 2 e 3), a partir das informações levantadas no inventário.

A análise da relação do crescimento em altura dominante em função da idade, fundamental para a determinação das classes de sítio, foi realizada com o modelo de Schumacher, resultando na equação $h_{dom} = 3,5687 e^{(-23,4854 I^{-1})}$ (R²_{ajust} (coeficiente de determinação ajustado) = 0,61; S_{yx} (erro padrão da estimativa) = 17,57%). As classes de sítio 1, 2 e 3 se referem aos locais de alta, média e baixa produtividade, respectivamente.

Os modelos hipsométricos foram ajustados, também, considerando os dados estratificados em três classes de altura total, em cada classe de sítio. Essas classes foram determinadas a partir da altura total média em cada sítio e o respectivo desvio padrão, conforme sugerido por Souza (1990) para florestas inequiduais.

No entanto, para que não houvesse relevante diferença no número de árvore em cada classe, foi empregada a relação da média mais ou menos 0,5 desvios padrões ($\bar{h} \pm \sigma/2$), sendo que as árvores inseridas nesse intervalo representaram a classe 2 e, aquelas acima e abaixo dessa, as classes 1 e 3, respectivamente. O número de árvores por classe de altura total, para cada classe de sítio, está apresentado na Figura 1.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios e limites dos diâmetros à altura do peito e de alturas totais do povoamento. Os valores são apresentados em referência ao ajuste sem estratificação e em cada uma das categorias de estratificação empregadas.

Tabela 1. Modelos empregados para estimar a variável altura total.

Nº	Autor/Fonte	Modelo
1	Campos (1986)	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 d^{-1} + \beta_2 \ln(h_{dom}) + \varepsilon_i$
2	Scolforo (1998)	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(h_{dom}) + \beta_2 \ln(d_g d^{-1}) + \beta_3 (I d)^{-1} + \beta_4 (d)^{-1} + \varepsilon_i$
3	Nogueira (2003)	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 h_{dom} + \beta_3 d^{-1} + \varepsilon_i$

Em que: h = altura total (m); d = diâmetro à altura do peito (cm); h_{dom} = altura dominante da parcela (m); d_g = diâmetro quadrático da parcela (cm); I = idade (meses); ln = logaritmo neperiano; β_i = coeficientes a serem estimados; ε_i = erro aleatório.

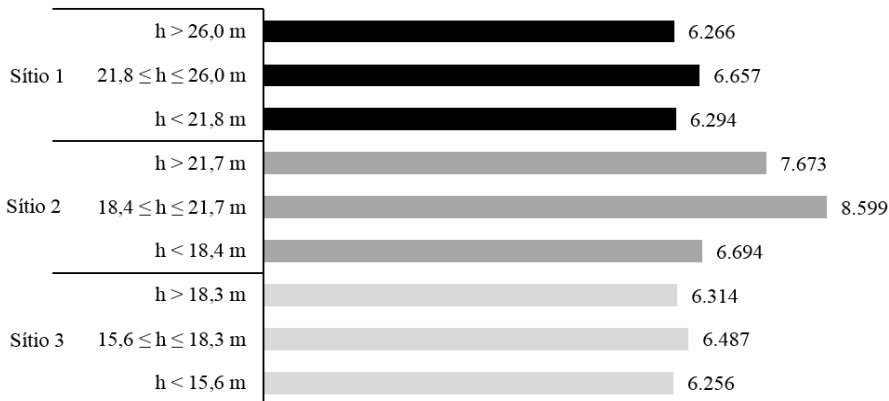


Figura 1. Número de árvores empregado no ajuste de modelos hipsométricos em povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. na região nordeste da Bahia, distribuído nas classes de altura total e de sítio.

Tabela 2. Valores mínimos, médios e máximos de diâmetro à altura do peito e altura total em cada categoria de estratificação.

Classe do ajuste	Diâmetro à altura do peito (cm)				Altura total (m)				
	Mínimo	Médio	Máximo	CV%	Mínimo	Médio	Máximo	CV%	
Sem estratificação	5,0	14,5	27,7	18,5	6,7	20,4	42,1	21,5	
Sítio 1	Sítio 1	5,0	16,2	27,7	17,7	8,0	24,1	42,1	18,0
	h < 21,8 m	5,0	13,6	20,2	10,2	8,0	19,2	21,7	7,6
	21,8 ≤ h ≤ 26,0 m	10,4	16,2	25,3	11,0	22,0	24,1	26,0	4,9
	h > 26,0 m	11,7	18,8	27,7	11,6	26,1	28,8	42,1	8,5
Sítio 2	Sítio 2	5,0	14,4	26,1	15,2	8,0	20,1	30,2	14,6
	h < 18,4 m	5,0	12,5	17,2	13,1	8,0	16,7	18,3	7,9
	18,4 ≤ h ≤ 21,7 m	9,1	14,4	23,8	10,0	18,4	20,1	21,6	4,8
	h > 21,7 m	11,0	16,3	26,1	10,5	21,8	23,5	30,2	5,6
Sítio 3	Sítio 3	5,1	13,0	21,3	15,4	6,7	16,9	25,6	15,6
	h < 15,6 m	5,1	11,2	16,2	13,1	6,5	13,8	15,5	9,3
	15,6 ≤ h ≤ 18,3 m	8,5	13,0	19,2	10,0	15,6	16,9	18,2	4,3
	h > 18,3 m	9,7	14,7	21,3	10,5	18,4	19,9	25,6	6,2

CV%: coeficiente de variação, dado pela razão do desvio padrão pela média aritmética, em porcentagem.

As estatísticas empregadas para avaliar os modelos foram o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}) e erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx}\%$), ambos obtidos para a variável de interesse (h), e a análise gráfica da distribuição de resíduos (Res%), dadas pelas seguintes equações:

$$R^2_{ajust} = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \right) \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \quad (1)$$

$$S_{yx}\% = 100 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{(n-p)}} \frac{1}{\bar{Y}} \quad (2)$$

$$Res\% = 100 \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right) \quad (3)$$

Em que Y_i = valor observado da variável; \hat{Y}_i = valor estimado da variável; \bar{Y} = valor médio observado da variável; n = número de observações; p = número de coeficientes do modelo.

O nível de significância α adotado na regressão foi de 5%, assim como para a significância dos coeficientes (p-valor $\leq 0,05$). Visando verificar a precisão das três alternativas, foi obtido o erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx}\%$) para cada uma, considerando toda a base de dados.

Resultados e Discussão

Ao aplicar os modelos hipsométricos aos dados sem estratificação, os valores de R^2_{ajust} variaram de 0,93 a 0,95, e os valores de S_{yx} de 4,93 a 5,61%, indicando que houve pouca variação entre os modelos testados (Tabela 3). Os melhores resultados foram para a equação de Scolforo (1998) (Modelo 2), sobretudo pelo menor valor S_{yx} , seguido pela equação de Campos (1986) (Modelo 1).

Esses resultados foram superiores em relação a outros trabalhos. Moraes Neto et al. (2010) testaram modelos de relação hipsométrica para *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis*, em Planaltina-DF, encontrando valores de R^2_{ajust} de 0,88 e S_{yx} mínimo de 11,6%, para modelos polinomiais. Rufino et al. (2010) ajustaram modelos para estimar a altura total de povoamentos de híbridos de *Eucalyptus urophylla*, conduzidos pela rebrota de cepas, no município de Niquelândia-GO. O maior valor de R^2_{ajust} e menor S_{yx} foi 0,760 e 10,45%, respectivamente, para o modelo de Stoffels.

Na Figura 2 podem ser observadas as distribuições de resíduos para os modelos 2 (Scolforo 1998) e 1 (Campos 1986). Observa-se que ambos proporcionaram ligeira tendência em superestimar a altura total em poucos casos, porém, não caracterizando os mesmos em imprecisos. Assim, com base nos resultados das estatísticas de avaliação, o Modelo 2 (Scolforo 1998) foi selecionado como mais adequado para estimar a altura total das árvores do povoamento, sem o uso da estratificação dos dados.

Os modelos hipsométricos foram, então, ajustados empregando classes de sítio. Os resultados estão apresentados na Tabela 4. Em comparação aos resultados obtidos nos ajustes sem estratificação, foi verificada pequena redução nos valores de R^2_{ajust} . Por outro lado, houve melhorias nos valores de $S_{yx}\%$. Para todas as classes de sítio, os melhores resultados foram do Modelo 2 (Scolforo 1998).

A relação hipsométrica e os gráficos da distribuição de resíduos para ajustes realizados por classes de sítio podem ser observados na Figura 3. As estimativas de altura total seguiram a mesma tendência dos valores observados, de um aumento para um mesmo diâmetro à medida que foi melhorada a qualidade do sítio. Também, foi observada grande variação da altura total para uma mesma classe diamétrica. No entanto, o Modelo 2 foi eficiente para estimar a altura, como notado pela sobreposição das estimativas sobre os valores observados.

Tabela 3. Estatísticas de avaliação de modelos hipsométricos ajustados aos dados sem estratificação, para povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. na região nordeste da Bahia, Brasil.

Modelo	Coeficientes					R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4		
1	1,2565*	-6,0604*	0,7120*			0,94	5,31
2	0,5771*	0,8591*	-0,3119*	1,149*	-3,2777*	0,95	4,93
3	2,7615*	-0,0005*	0,0329*	-6,3441*		0,93	5,61

* Coeficiente significativo, considerando um nível de 5% de significância.

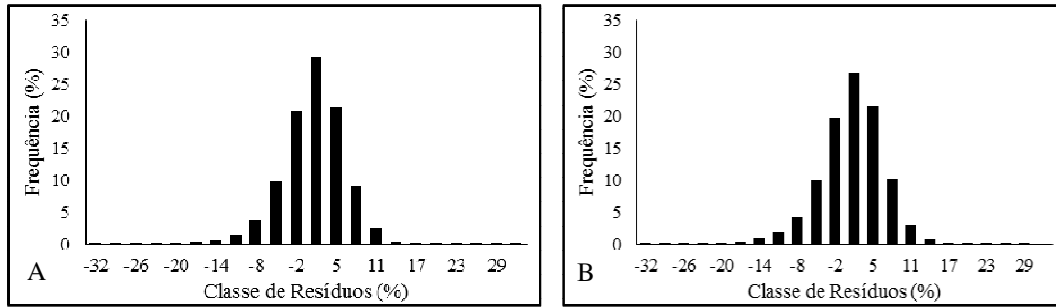


Figura 2. Distribuições de resíduos para o (A) modelo 2 e (B) modelo 1, ajustados a dados sem estratificação, em povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. na região nordeste da Bahia, Brasil.

Tabela 4. Estatísticas de avaliação de modelos hipsométricos ajustados por sítio, para povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. na região nordeste da Bahia, Brasil.

Classe de Sítio	Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R ² _{ajust}	S _{yx} %
1	1	1,433422*	-6,888621*	0,674496*			0,91	5,30
	2	0,639692*	0,859660*	-0,276159*	31,831309*	-4,67219*	0,93	4,92
	3	2,916066*	-0,000737*	0,028898*	-6,9977680*		0,91	5,36
2	1	1,317028*	-6,164720*	0,694229*			0,89	4,89
	2	0,442576*	0,906380*	-0,296962*	29,208094*	-3,76375*	0,90	4,58
	3	2,705251*	-0,000523*	0,035584*	-6,2096560*		0,89	4,89
3	1	1,129769*	-5,206695*	0,732034*			0,89	5,06
	2	0,396983*	0,899003*	-0,339753*	6,8753420*	-2,29289*	0,91	4,68
	3	2,483797*	-0,000550*	0,043738*	-5,2699260*		0,89	5,14

* Coeficiente significativo, considerando um nível de 5% de significância.

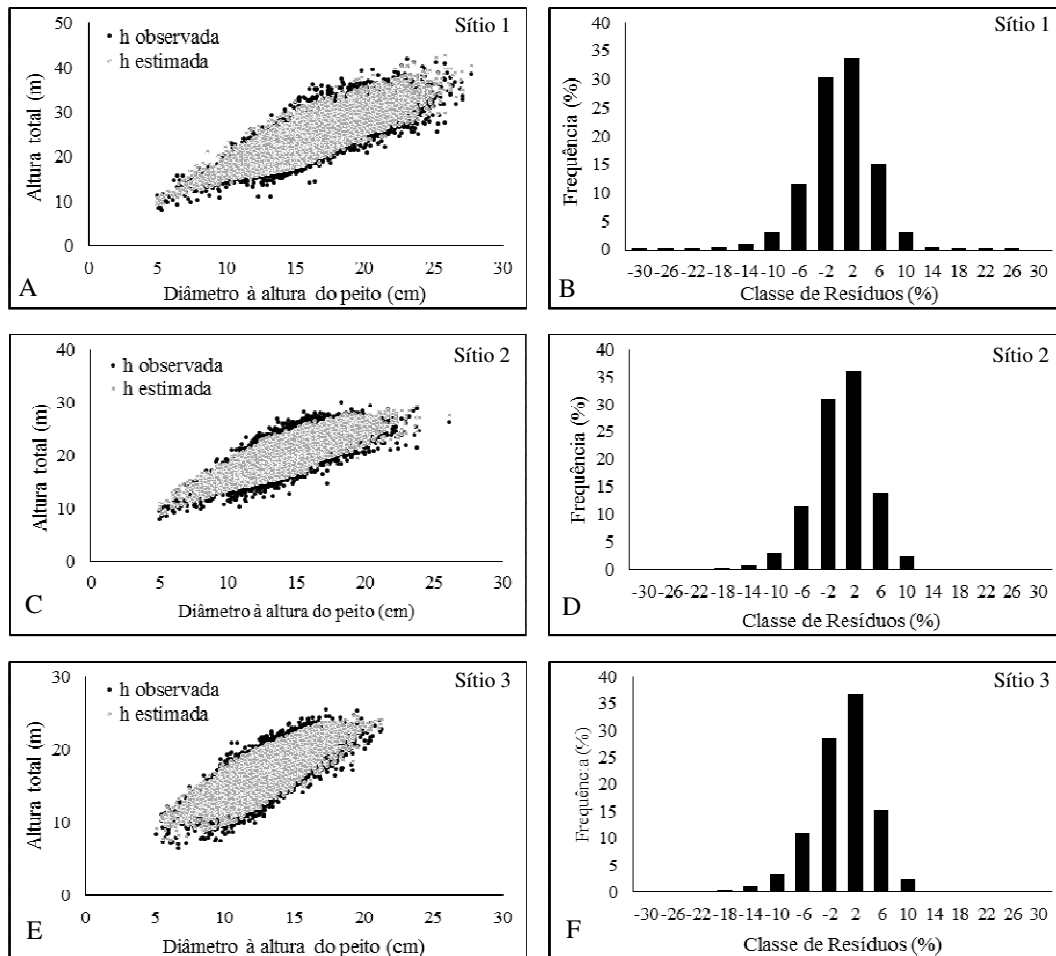


Figura 3. Relação hipsométrica e distribuições dos resíduos para o modelo 2, ajustado com estratificação por sítio, em povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. na região nordeste da Bahia, Brasil. (A, C, E) Relação hipsométrica. (B, D, F) Distribuições dos resíduos.

Assim, ressalta-se a importância do Modelo 2 que considera, além do diâmetro, outras variáveis importantes para descrever a variável altura. Franco et al. (1997), trabalhando com *Eucalyptus camaldulensis* no município de João Pinheiro-MG, concluíram que equações hipsométricas devem ser obtidas controlando-se as variáveis idade, sítio e densidade do povoamento. Leite e Andrade (2003) destacaram a importância da variável altura dominante em

equações hipsométricas para eucalipto. A eficiência das estimativas ainda pode ser comprovada pelos gráficos de resíduos, em que a maior parte da frequência esteve distribuída entre $\pm 15\%$ (Fig. 3).

Os modelos hipsométricos foram ainda ajustados considerando os dados estratificados em classes de altura total, para cada classe de sítio. Os resultados desses ajustes podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5. Estatísticas de avaliação de modelos hipsométricos ajustados por classe de sítio e classe de altura total, em povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. na região nordeste da Bahia, Brasil.

Classe de Sítio	Classe de Altura	Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$
1	1	1	2,2032*	-5,7845*	0,38879*			0,66	5,65
		2	1,2621*	0,63098*	-0,2884*	29,3664*	-3,8528*	0,71	5,21
		3	2,9236*	-0,0038*	0,02837*	-5,7377*		0,66	5,63
	2	1	2,2163*	-3,1754*	0,3600*			0,45	3,62
		2	1,7458*	0,4720*	-0,1708*	3,9186 ^{ns}	-1,5429*	0,50	3,44
		3	3,0333*	-0,0002*	0,0141*	-3,2153*		0,43	3,68
	3	1	1,2726*	-4,2066*	0,6846*			0,78	4,03
		2	0,7655*	0,7875*	-0,2099*	35,3033*	-2,1865*	0,81	3,74
		3	2,9237*	-0,0004*	0,0234*	-4,2605*		0,78	3,97
2	1	1	2,2773*	-5,0926*	0,3273*			0,61	4,89
		2	1,1222*	0,6591*	-0,2599*	44,7553*	-3,9549*	0,65	4,64
		3	2,8137*	-0,0032*	0,0286*	-5,0054*		0,62	4,87
	2	1	2,0047*	-3,1784*	0,3990*			0,48	3,46
		2	1,5894*	0,4941*	-0,1709*	4,2447 ^{ns}	-1,4754*	0,51	3,35
		3	2,8170*	-0,0003*	0,0199*	-3,2032*		0,47	3,50
	3	1	1,3112*	-3,2725*	0,6457*			0,62	3,46
		2	0,8197*	0,7530*	-0,1933*	15,8660*	-1,3867*	0,66	3,27
		3	2,7020*	-0,0002*	0,0280*	-3,2818*		0,63	3,44
3	1	1	1,6336*	-4,6519*	0,5225*			0,61	5,84
		2	0,7803*	0,7460*	-0,3390*	15,6846*	-2,3175*	0,66	5,44
		3	2,5632*	-0,0016*	0,0368*	-4,7443*		0,59	5,96
	2	1	1,9896*	-2,1762*	0,3503*			0,44	3,22
		2	1,5712*	0,4594*	-0,1576*	-1,9442 ^{ns}	-0,9011*	0,48	3,10
		3	2,6570*	0,000007 ^{ns}	0,0192*	-2,1968*		0,55	3,25
	3	1	1,3796*	-3,3128*	0,6111*			0,66	3,58
		2	0,7910*	0,7469*	-0,2347*	6,8209*	-1,0799*	0,70	3,36
		3	2,6015*	0,00005 ^{ns}	0,0303*	-3,2971*		0,67	3,56

* e ^{ns} coeficiente significativo e não significativo, respectivamente, considerando um nível de 5% de significância.

Em geral, os melhores resultados de R^2_{ajust} foram para o sítio de maior capacidade produtiva (sítio 1), sobretudo na classe de altura 3. Em relação ao $S_{yx}\%$, os melhores resultados foram para a classe de altura 2. Em cada classe de altura, os melhores resultados foram para o Modelo 2 (Scolforo 1998), indicando que além do d , as variáveis h_{dom} , idade e d_g também são essenciais na descrição da variável altura total (Tabela 5). Nos casos de não significância de algum coeficiente, a variável independente associada a esse coeficiente foi desconsiderada, e o modelo reajustado.

Os valores de R^2_{ajust} apresentados na Tabela 5 foram inferiores ao comparar com os ajustes sem estratificação e, em geral, os valores de $S_{yx}\%$ permaneceram similares àqueles obtidos nos ajustes estratificados em classes de sítio. Isso indica que a curva de regressão ajustou-se melhor ao conjunto de dados em sua totalidade e, na medida em que os dados foram estratificados, a mesma não conseguiu descrever a tendência de variação das alturas observadas com mesma eficiência. Ao se considerar toda a base de dados, há maior diferença nos níveis (inclinação) de uma reta imaginária sobre os valores observados, promovendo

maior correlação entre esses e os respectivos valores estimados.

Ao contrário, quando se considera apenas parte da curva que descreve a variação dos dados observados, a estratificação provoca a redução dessa inclinação por considerar apenas parte desses valores, diminuindo a correlação e, consequentemente, o coeficiente de determinação. Tais resultados foram similares aos encontrados por Soares et al. (2004), cujos valores de R^2_{ajust} foram maiores para a estratificação por sítio ao comparar com aqueles estratificados em classes de sítio e idade, para alguns modelos. Porém, os valores de S_{yx} mantiveram-se semelhantemente baixos e, em alguns casos, superiores àqueles obtidos sem o uso da estratificação.

De posse dos modelos selecionados em cada situação, foi obtido o $S_{yx}\%$ adotando toda a base de dados. O $S_{yx}\%$ para os dados sem estratificação foi de 4,93%, e para os dados estratificados em classes de sítios foi de 4,79%. O menor valor de $S_{yx}\%$ foi obtido ao considerar a estratificação em classes de altura total para cada classe de sítio, sendo de 3,9%. Essa redução ressalta a importância da

estratificação para ajuste de modelos hipsométricos, com ganhos em precisão nas estimativas de altura total.

Na Figura 4A-B pode ser observado o comportamento das estimativas de altura total, obtidas pelos dois critérios de estratificação utilizados neste trabalho, com os respectivos valores observados. A dispersão se encontra próxima à reta imaginária a partir da origem e com inclinação de 45°, demonstrando razoável precisão das estimativas. Para árvores de menor porte, percebe-se que existe leve tendência em superestimar os valores de altura total, em ambas as formas de estratificação. Isso é reflexo da maior variabilidade de altura total nas classes inferiores dessa variável, coincidentes às idades iniciais. Os valores referentes ao ajuste realizado ao considerar classes de sítios e classes de altura (Figura 4B) se apresentam mais próximos ao longo da reta imaginária, o que indica maior proximidade das estimativas aos respectivos valores observados.

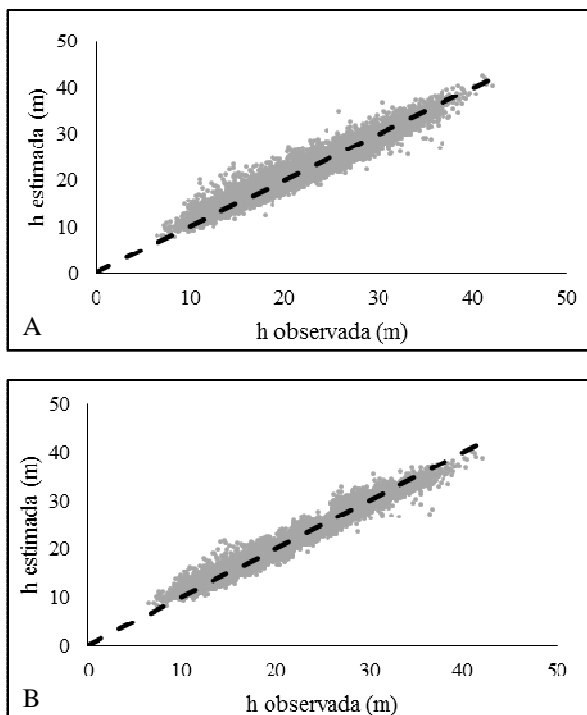


Figura 4. Comportamento das estimativas de (A) altura total para os dados estratificados em classes de sítio e em (B) classes de sítios e de altura total, em povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. na região nordeste da Bahia, Brasil.

Além da variável sítio e altura total, é essencial o emprego de outras variáveis passíveis de serem usadas como critérios de estratificação. Alguns exemplos são o diâmetro à altura do peito, idade, espaçamento de plantio, material genético, sistema silvicultural e a parcela. O uso desses artifícios podem aprimorar a acuracidade nos resultados dos inventários florestais e, conseqüentemente, nas estimativas de simuladores do crescimento e da produção do povoamento.

Conclusões

O modelo hipsométrico de Scolforo foi o mais adequado para estimar a altura total conforme os critérios estatísticos empregados, tanto para a base de dados sem estratificação quanto aos ajustes realizados considerando estratos.

O ajuste dos modelos aos dados sem estratificação gerou estimativas precisas e razoavelmente livres de tendência. Ao estratificar os dados em classes de sítio e de sítio e altura total, a precisão permaneceu próxima ao ajuste sem estratificação.

Considerando a análise de toda a base de dados, a estratificação proporcionou estimativas mais precisas, porém, com menor precisão nas classes inferiores de idade, dada à maior variabilidade da altura total, para ambos os casos. A estratificação que considerou o sítio e a própria altura total proporcionou maior precisão das estimativas.

Referências

- Araújo EJG, Pelissari AL, David HC, Miranda ROV, Péllico Netto S, Morais VA, Scolforo JRS (2012) Relações dendrométricas em fragmentos de povoamentos de pinus em Minas Gerais. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 32(72):355-366. doi: 10.4336/2012.pfb.32.72.355
- Binoti MLMS, Binoti DHB, Leite HG (2013) Aplicação de redes neurais artificiais para estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto. *Revista Árvore*, 37(4):639-645. doi: 10.1590/S0100-67622013000400007
- Assmann E (1970) *The principles of forest yield study*. Oxford: Pergamon Press. 506p.
- Campos JCC (1986) Aplicação de um modelo compatível de crescimento e produção de densidade variável em plantações de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, 2(10):121-134.
- Curto RA, Loureiro GH, Môra R, Miranda ROV, Péllico Netto S, Silva GF (2014) Relações hipsométricas em Floresta Estacional Semidecidual. *Revista de Ciências Agrárias*, 57(1):57-66. doi: 10.4322/rca.2013.066
- Curto RA, Silva GF, Pezzopane JEM, Chichorro JF, Môra R (2013) Métodos de estratificação vertical em Floresta Estacional Semidecidual. *Revista Ciência Florestal*, 23(4):643-654. doi: 10.5902/1980509812348
- Drescher R, Gava FH, Pelissari AL, Acosta FC, Silva VSM (2014) Equações volumétricas para *Tectona grandis* Linn F. em povoamentos jovens no estado de Mato Grosso. *Advances in Forestry Science*, 1(2):65-70.
- Franco EJ, Scolforo JRS, Mello, JM, Oliveira AD (1997) Eficiência dos métodos para estimativa volumétrica de *Eucalyptus camaldulensis*. *Revista Cerne*, 3(1):82-117.
- Leite HG, Andrade VCL (2003) Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. *Revista Árvore*, 27(3):301-310. doi: 10.1590/S0100-67622003000300005
- Machado SA, Nascimento RGM, Augustynczik ALD, Silva LCR, Figura MA, Pereira EM, Téó SJ (2008) Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 56:5-16.
- Miranda ROV (2012) *Modelagem em nível de povoamento para Eucalyptus sp. com estratificação em classes de precipitação pluviométrica*. Dissertação, Universidade Estadual do Centro-Oeste. 78p.
- Moraes Neto SP, Pulrolnik K, Vilela L, Munhoz DJM, Guimarães Júnior R, Marchão RL (2010) Modelos hipsométricos para *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* em sistema agrossilvipastoril. Planaltina: Embrapa Cerrados. 33p. (Embrapa Cerrados: *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 286).

- Nogueira GS (2003) *Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de Eucalyptus sp. e de Tectona grandis submetidas a desbaste*. Tese, Universidade Federal de Viçosa. 126p.
- Péllico Netto S, Brena DA (1997) *Inventário florestal*. Curitiba: Editorado pelos autores. 316p.
- Rufino RF, Miguel EP, Santos GA, Santos TEB, Souza F (2010) Ajuste de modelos hipsométricos para um povoamento de eucaliptos conduzido sobre o sistema de rebrota. *Revista Enciclopédia Biosfera*, 6(10):1-10.
- Schröder T, Pereira LD, Hofigo NSA (2013) Comparação de métodos de estimativa de volume total para *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *Floresta e Ambiente*, 20(4):480-486. doi: 10.4322/floram.2013.041
- Scolforo JRS (1998) *Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas*. Lavras: UFLA/FAEP. 441p.
- Soares TS, Scolforo JRS, Ferreira SO, Mello JMD (2004) Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. *Revista Árvore*, 28(6):845-854. doi: 10.1590/S0100-67622004000600009
- Souza AL (1990) *Estrutura, dinâmica e manejo de florestas tropicais*. Viçosa: UFV. 122p.
- Thiersch CR, Andrade MG, Moreira MFB, Loibel S (2013) Estimativa da relação hipsométrica em clones de *Eucalyptus* sp. com o modelo de Curtis ajustado por métodos bayesianos empíricos. *Revista Árvore*, 37(1):1-8. doi: 10.1590/S0100-67622013000100001
- Thomas C, Andrade CM, Schneider PR, Finger CAG (2006) Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciência Florestal*, 16(3):319-327.