

APLICAÇÃO DE MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA EM FLORESTA EQUIÂNEA DE *Eucalyptus* spp. EM SABINÓPOLIS/MG

Lucas Galdino da Silva¹; Nivandilmo Luiz da Silva¹, Anderson Arthur de Lima Santos¹,
Vânia Aparecida de Sá², Antônio Marcos Rosado³

⁽¹⁾ Graduando em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Alagoas – Centro de Ciências Agrárias de Alagoas (CECA), BR 104, Km 85, s/n, Rio Largo – AL, CEP 57.100-000. e-mail: lucas.galdino.dss@gmail.com

⁽²⁾ Professora Dra. do curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Alagoas, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Centro de Ciências Agrárias, BR 104, Km 85 s/n, Rio Largo, AL, Brasil.

⁽³⁾ Doutor em Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa.

Identificação do evento: Apresentado no IV Congresso Brasileiro de Eucalipto – 07 e 08 de Agosto de 2019 – Salvador – BA

RESUMO: O uso dos recursos madeireiros provenientes de florestas equiâneas de espécies do gênero *Eucalyptus* tem sido abrangente no mercado florestal. Assim, busca-se quantificar o estoque madeireiro de forma precisa e viável economicamente. Os modelos de relação hipsométrica visa estimar a altura das árvores, sendo esta uma variável de alto custo e difícil obtenção em inventários florestais e que necessita de estimativas precisas. A presente pesquisa teve como objetivo avaliar diferentes modelos de relação hipsométrica em um povoamento florestal de *Eucalyptus* spp. no município de Sabinópolis – MG. Para a coleta de dados foram mensurados o DAP e altura de 60 indivíduos de 20 materiais genéticos diferentes, logo após, utilizou-se 4 modelos de relação hipsométrica usuais em empresas florestais. Tais modelos foram ranqueados quanto as melhores estimativas referentes ao erro padronizado (Syx e Syx %), coeficiente de determinação ajustado (R^2), F da análise de variância e gráficos de resíduos. Os modelos também foram comparados pelo teste Qui-quadrado (X^2). Os resultados apontaram o modelo de Assmann como o mais eficiente para as estimativas de altura, e o de Stoffels como o menos acurado, porém, o teste X^2 não acusou diferença entre os modelos utilizados para ajuste dos parâmetros utilizados. Entretanto, como o modelo aritmético de Assmann é simples comparado aos demais, sugere-se esta equação hábil de ser aplicada na região de estudo.

Palavra chave: Relação hipsométrica, Eucalipto, Modelagem florestal.

INTRODUÇÃO

As necessidades humanas pelos recursos madeireiros para os diversos usos, dentre os principais, a produção de celulose, abastecimento energético, construção civil e movelaria, vem promovendo uma pressão alarmante sobre as florestas nativas. Para reduzir esse impacto e suprir a demanda madeireira, faz-se necessário o uso de espécies alternativas, que gerem plantios florestais renováveis de ciclo curto, dentre as mais utilizadas, o gênero *Eucalyptus* têm se destacado (JUNIOR et al., 2019).

O uso do eucalipto tem sido destinado especialmente para indústrias, entretanto, por ser líder mundial no ramo, novas tecnologias que visem maior disputa de mercado e sustentabilidade contínua para fábricas a longo prazo estão sendo destinadas a produção (IBA, 2017). É importante destacar a dinâmica de uso proporcionada por essas florestas, desde serviços ambientais até conservação de biodiversidade, e hoje, a relevância desses povoamentos na captação de carbono.

Ao fazer uma análise sobre árvores plantadas, busca-se quantificá-las de forma econômica e descobrir as causas de perdas e os possíveis aprimoramentos no seu desenvolvimento. Em inventários, a medição do diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores é de fácil obtenção, em contrapartida, a medição da altura das árvores é uma variável que gera custo, além de ser de difícil mensuração (MACHADO et al., 2019). Diante disso, o uso de métodos de modelagem faz-se necessário para entender variáveis que afetam o crescimento dessas florestas. A mensuração de dados hipsométricos envolve DAP e altura (H), variáveis essas que necessitam de estimativas com alto grau de precisão. Nesse contexto, a diminuição de falhas nos procedimentos de aquisição dessas informações torna indispensável a aplicação de ferramentas que moldem de forma correta essas variáveis.

A compreensão de variáveis que estão envolvidas com ajustes de equações hipsométricas dentro de florestas equiâneas possibilita uma maior assertividade a longo prazo. Esses modelos trazem benefícios diante da busca por estimativas que combinem no processamento de diferentes características biológicas que diversas vezes podem levar a uma maior dificuldade na modelagem, gerando assim a um menor ajuste dos padrões estimados na precisão dos dados que se almeja. (BINOTI et al., 2013).

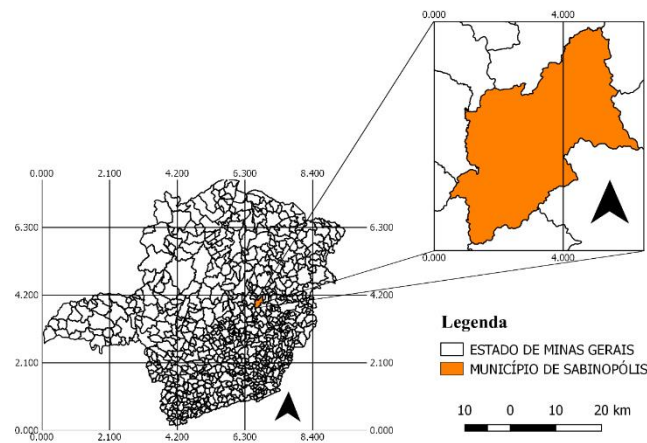
Diante do exposto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar diferentes modelos de relação hipsométrica em um povoamento florestal equiâneo de *Eucalyptus* spp., afim de indicar o modelo mais preciso para estimação de altura no município de Sabinópolis – MG.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no município de Sabinópolis, estado de Minas Gerais. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima é considerado Cwa – inverno e verão chuvoso, com temperatura do mês mais frio inferior a 18 °C e a do

mais quente ultrapassando 22 °C, e estação seca ocorrendo entre os meses de abril e setembro (CENIBRA, 2001). Dentro da região estudada constata-se a predominância de Latossolo, tendo relevo definido como ondulado e forte ondulado, com formações florestal subcaducifólia e o uso atual do solo é predominantemente com pastagens e eucalipto.

Figura 1: Localização da região de estudo, Sabinópolis - MG – Brasil.



Os dados foram oriundos de uma floresta equiânea com 7 anos de idade, constituída de um misto de 20 (vinte) materiais clonais do gênero *Eucalyptus*, sendo mensurados aleatoriamente 3 exemplares de cada clone, totalizando 60 indivíduos para análise de dados. Foram consideradas as variáveis Diâmetro à Altura do Peito (DAP), utilizando Suta; Altura Total (h), com hipsômetro Suunto PM 5/360.

A partir dos dados levantados, foi feita a relação hipsométrica ajustando 4 modelos usuais em empresas florestais, sendo dois deles aritméticos e dois logarítmicos (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos testados para estimativa de altura (h) a partir do diâmetro a altura do peito (DAP) em plantios de eucaliptos.

Modelos	Autor
Aritméticos $h = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{DAP^2} + \epsilon_i$ $h = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \epsilon_i$	Assmann Trorey (1932)
Logarítmicos $\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{DAP} + \epsilon_i$ $\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \epsilon_i$	Curtis Stoffels

Após o ajuste foram feitas as estimativas de altura de cada equação, e através da estatística realizou-se uma análise comparativa com os dados observados para verificar a variância e, assim obter as medidas de precisão, sendo: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) = expressa a quantidade total da variância expressa pela regressão; erro padrão de estimativa (S_{yx}) = mede a precisão na estimativa do modelo ajustado; coeficiente de variação ($S_{yx}\%$) = quantifica a variação total da estimativa; valor F do teste de variância e análise a 5% de probabilidade = bastante utilizado na comparação de equações ajustadas, quanto maior o valor F melhor o ajuste do modelo; gráficos de resíduos = permite visualizar pela distribuição dos erros padronizados se há ou não tendência na estimativa da altura. Esse mesmo procedimento estatístico foi utilizado por Thomas. et al. (2006), Souza et al. (2017) e outros.

Para selecionar o melhor modelo foram atribuídos valores de 1 a 4 para cada medida de precisão, onde as estatísticas de melhor ajuste obtiveram nota 1, as segundas melhores 2, e assim sucessivamente (ranqueamento de equações). Para finalizar, o modelo com menor somatório é considerado mais preciso, e, conseqüentemente, o de maior é considerado pior dentre os analisados. Este procedimento de seleção é conhecido

Visando investigar se as equações tidas como a melhor e a pior no ranqueamento diferem nas estimativas de altura, foi feito o teste Qui-quadrado (X^2) ao nível de significância de 0,01, utilizando a seguinte equação:

$$X^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / \hat{y}_i$$

Em que: y_i = altura estimada pela equação mais acurada; \hat{y}_i : altura estimada pela equação de menor acuracidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o erro padrão da estimativa (S_{yx}), os valores variaram de 1,1151 a 1,2573, em que o primeiro valor é referente ao modelo de Assmann, apresentando melhor estimativa entre os modelos avaliados, sendo assim, o coeficiente de variação foi de 4,78%, indicando menor variação dos valores estimados. Outro parâmetro estatístico analisado foi o

coeficiente de determinação ajustado, este apresentou variação de 0,624 a 0,704, não atingindo 80 %. De acordo com Campos e Leite (2006), esse valor não passa dos 80% porque as variáveis dependentes e independentes na relação hipsométrica não são bem correlacionadas como nas de estimativa de volume (Tabela 2).

Tabela 2: Parâmetro estatísticos da estimativa dos modelos hipsométricos. Em que: β_0 , β_1 e β_2 são coeficientes da regressão não logaritimizados; Syx: erro padrão da estimativa; Syx %: erro padrão da estimativa em porcentagem; R^2_{aj} : coeficiente de determinação ajustado; F: valor de F da análise de variância.

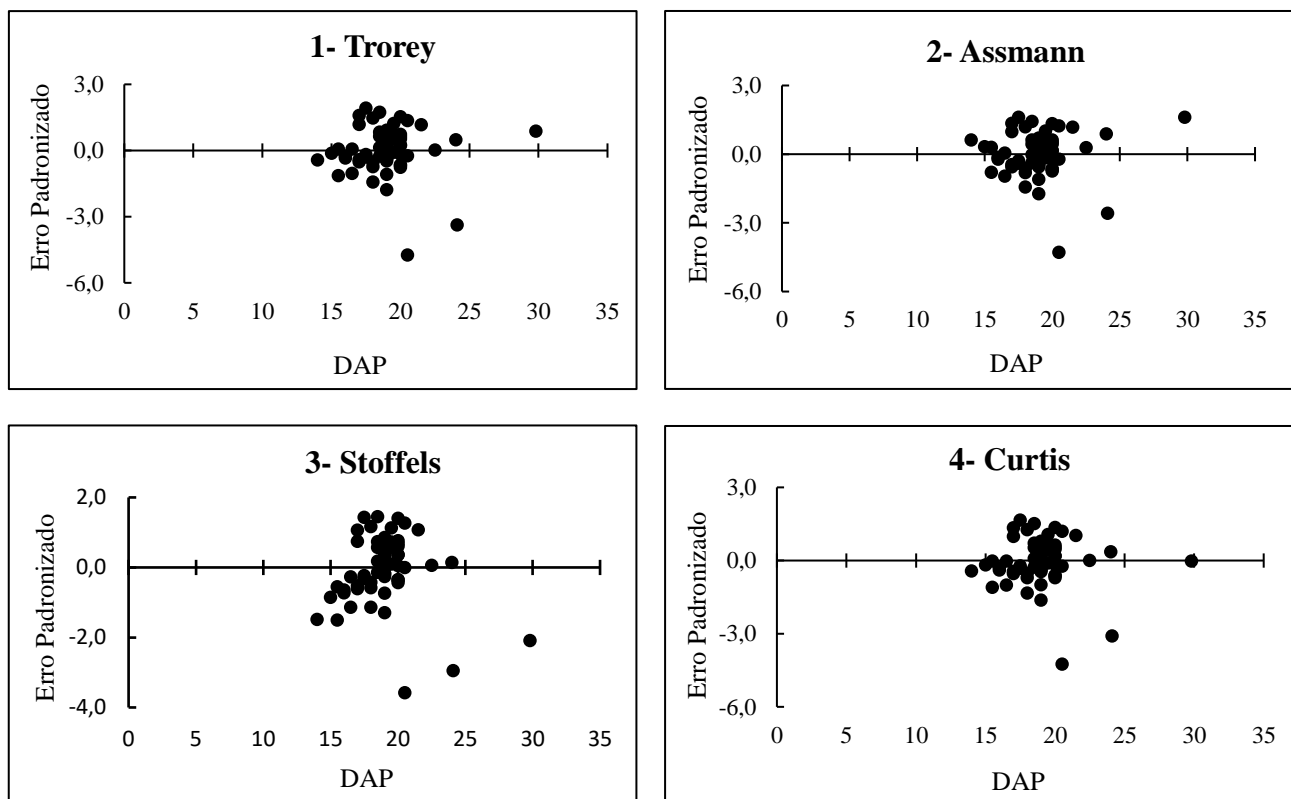
Autor	Coeficientes			Medidas de precisão				Notas do Ranking				Total	Ranque
	β_0	β_1	β_2	Syx	Syx%	R^2_{aj}	F	Syx	Syx%	R^2_{aj}	F		
Trorey	-3,3453	1,9622	-0,0301	1,13	4,95	0,70	68,56	3	3	3	4	13	3°
Assmann	30,4476	-2,612,8123	-	1,12	4,88	0,70	141,56	1	1	1	1	4	1°
Stoffels	12,7465	1,0311	-	1,26	5,50	0,62	98,95	4	4	4	3	15	4°
Curtis	44,3752	0,0000	-	1,12	4,90	0,70	140,08	2	2	2	2	8	2°

O valor de F foi altamente significativo a 5% de probabilidade para todos os modelos, destaque para o modelo de Assmann, que apresentou valor igual a 141,56, não diferindo muito em paralelo ao modelo de Curtis que ficou com 140,08.

Diante dos resultados, é notório a partir das notas aplicadas a superioridade do modelo aritmético de Assmann (1°). Em contrapartida, o modelo logarítmico de Stoffels (4°) foi o que menos se ajustou. Visto isso, o teste Qui-quadrado (X^2) foi utilizado para verificar se há diferença significativa a 0,01% de probabilidade nas estimativas dessas duas equações (a primeira e a última no ranque) selecionadas. O valor do teste foi de 1,38 e o valor a tabelado de 37,49, não havendo diferença estatística por meio deste teste, logo, as estimativas de altura podem ser obtidas por qualquer uma das equações analisadas para o povoamento de eucalipto em estudo.

Conforme Oliveira et al. (2015), os gráficos de distribuição de resíduos auxiliam na interpretação espacial servindo de apoio à escolha do modelo de maior adequação no ajuste. Dito isso, na Figura 2, observa-se que a distribuição do erro padronizado em função do diâmetro não obteve tendências. Porém, é perceptível que o modelo de Assmann apresenta uma menor amplitude residual (se aproximam mais do desvio zero (eixo)), tanto subestimando como superestimando os resultados, em comparação com os demais modelos, logo, este é o mais indicado pelo presente estudo.

Figura 2. Gráficos da distribuição do erro padronizado em função do DAP para os modelos de Trorey, Assmann, Stoffels e Curtis.



Todos os modelos apresentam heterocedasticidade, ou seja, os resíduos estão distribuídos de forma não tendenciosa. E, a partir desta distribuição residual foi possível perceber a presença de “outliers” nos dados analisados, característica comum em relações que contenham variáveis biológicas, sendo explicado pela enorme diferença entre indivíduos arbóreos em sua

forma, ou a partir falhas durante a coleta de dados. Possibilitando aferir sobre a necessidade do uso de modelos que ajustem variáveis com alta precisão.

CONCLUSÕES

A partir das avaliações das medidas de precisão e avaliação dos gráficos de resíduos, percebe-se que os modelos propostos foram eficientes para estimação da altura a partir do DAP, de indivíduos lenhosos em povoamentos de eucalipto no município de Sabianópolis - MG. Pois, apesar do ranqueamento apontar o modelo de Assmann como o mais eficiente para as estimativas de altura, e o de Stoffels como o menos acurado, o teste Qui-quadrado (X^2) comprovou estatisticamente que não existe diferença entre as equações utilizadas para ajuste dos parâmetros utilizados. Porém, como o modelo aritmético de Assmann é simples comparado aos demais, sugere-se esta equação hábil de ser aplicada nessa região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.; G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 2.ed. ver. E ampl. – 443 Viçosa: ed. UFV, 2006.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES/IBÁ. **Anuário estatístico 2017: ano base 2016**. Brasília: 2017. 80p.
- CELULOSE NIPO BRASILEIRA S/A. – CENIBRA. **Levantamento semidetalhado de solos das regiões do Rio Doce, Antônio Dias, Sabinópolis e Virginópolis**. Ipatinga, 2001. 101p.
- JUNIOR, L. S.; MELO, R. R.; CASTRO, V. G.; SOUZA, M. J. C.; BATISTA, F. G. Qualidade da madeira juvenil de um híbrido clonal (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* – H13). **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 6, n. 1, p. 523-527, 2019.
- MACHADO, I. E. S.; MEDEIROS, P. C. A. O.; CARVALHO, M. G. C.; PEREZ, C. A. M.; SANTANA, T. F.; ANDRADE, V. C. L. Modelos hipsométricos ajustados para um fragmento de cerrado *Sensu stricto* tocantinense. **Revista Agrogeambiental**, Pouso Alegre, v. 11, n. 1, mar. 2019.
- Binoti, M. L. M. S. ; Binoti, D. H. B. ; Leite, H. G. Aplicação de redes neurais artificiais para estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 37, n. 4, julho-agosto, 2013, p. 639-645, Universidade Federal de Viçosa.
- OLIVEIRA, G. M. V.; MELLO, J. M.; ALTOÉ, T. F.; SCALON, J. D.; SCOLFORO, J. R. S.; PIRES, J. V. Equações hipsométricas para *eucalyptus spp.* não manejado em idade avançada com técnicas de inclusão de covariantes. **CERNE**, v. 21 n. 3, p. 483-492, 2015.
- SOUZA, A. S.; SANTOS, J. X.; SOUZA, D. V. Modelagem da relação hipsométrica para um povoamento híbrido de eucalipto na Amazônia brasileira. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 2 n. 1 p. 44-53 2017.
- THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.