

I Workshop da Pós Graduação

Capítulo 5

MODELOS NÃO-SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DE AFILAMENTO EM UM PLANTIO DE *Khaya* spp.

Gabriela Fedrizzi¹;
Christian Dias Cabacinha²;
Adriana Leandra de Assis³.

¹Eng. Agrônoma, Mestranda do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais Universidade Federal de Minas Gerais, e-mail: fedrizzi.gabrielai@gmail.com; ²Doutor do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal de Minas Gerais; ³Doutora, Professora do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais.

Resumo: Avaliar o comportamento dos modelos que descrevem a forma dos fustes das árvores em condições distintas de crescimento é fundamental para garantir a maior eficiência de tais modelos em diferentes condições edafoclimáticas, pois o afilamento é influenciado pelas características do sítio florestal. O objetivo desta pesquisa foi comparar a eficiência de modelos não-segmentados para estimar os diâmetros ao longo do fuste, em um povoamento de *Khaya* spp, localizado no norte de Minas Gerais. Os modelos avaliados neste estudo foram Kozak (1969), Schöepfer (1966) e Hradetzky (1976), os quais foram submetidos às análises estatísticas de desvio (D), desvio padrão das diferenças (SD), soma do quadrado do resíduo relativo (SSRR), porcentagem dos resíduos (RP), correlação (r) e raiz quadrada do erro médio (RMSE). Entre os modelos não-segmentados avaliados neste capítulo, o modelo de Hradetzky foi o que apresentou as melhores estatísticas de ajuste e não apresentou diferença entre os valores de diâmetros estimados e observados.

Palavras-chave: Taper, sortimentos, mogno africano.

Abstract: Studies on tapering in African mahogany have already been conducted; however, this is a first approach for a stand located in the northern region of Minas Gerais. Evaluating the behavior of such models under different growth conditions is significant for the improved efficiency of these models in varying edaphoclimatic conditions, as tapering is influenced by the characteristics of the forest site. The objective of this research was to compare the efficiency of non-segmented models for estimating diameters along the stem in a stand of *Khaya* spp located in the northern region of Minas Gerais. The models evaluated in this study were Kozak (1969), Schöepfer (1966), and Hradetzky (1976), which underwent statistical analyses including deviation (D), standard deviation of differences (SD), sum of the square of the relative residual (SSRR), percentage of residuals (RP), correlation (r), and root mean square error (RMSE). Among the non-segmented models evaluated in this chapter, the Hradetzky model exhibited the best fit statistics and showed no difference between the estimated and observed diameter values.

Keywords: Taper, assortments, African mahogany.

Introdução

O estudo da forma do fuste das árvores pode ser realizado através de modelos de afilamento, os quais têm sua funcionalidade baseada na representação matemática da forma do fuste das árvores, possibilitando estimar o diâmetro a uma altura qualquer do fuste, estimar a altura comercial relativa a um diâmetro mínimo de uso, bem como estimar o volume parcial ou total do fuste, por meio de diferentes técnicas de ajustes e modelagem matemática.

No Brasil, os modelos de afilamento são utilizados,

principalmente, em florestas plantadas homogêneas, sendo pouco utilizados para florestas naturais devido à grande diversidade de espécies e idades que compõem estas florestas e, conseqüentemente, pelos diferentes perfis de fuste, o que resulta em baixa precisão das equações.

A partir destes modelos é possível estudar o afilamento dos fustes das árvores e estimar os sortimentos (múltiplos produtos) das árvores e a otimização do recurso madeireiro presente na floresta. Sua principal vantagem é a obtenção de volumes de forma compatível, ou seja, a soma dos volumes comerciais será sempre menor que o volume total

Estudos de afilamento em mogno africano já foram realizados, contudo essa é uma primeira abordagem para um povoamento localizado no norte de Minas Gerais. A pergunta central que direcionou este estudo foi: Qual modelo de afilamento não-segmentado é o mais acurado para estudar o afilamento de mogno africano em povoamentos cultivados em região de déficit hídrico? Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi comparar a eficiência de modelos não-segmentados para estimar os diâmetros ao longo do fuste, em um povoamento de *Khaya spp.*, localizado no norte de Minas Gerais.

Material e Métodos

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos de um plantio que possui 10 talhões com diferentes áreas que se diferem por tamanho da área e pelo material genético, idade e espaçamento. Foi realizada a cubagem rigorosa em pé onde foram mensurados os diâmetros nas alturas de 0,3m; 0,7m; 1,3m; 2m e, após a altura de 2m, os diâmetros foram coletados a cada metro até o diâmetro mínimo de 6cm ou, então, até que não fosse mais possível realizar a coleta por influência da copa das árvores. Os modelos avaliados neste estudo foram: Kozak (1969), Schöepfer (1966) e Hradetzky(1976).

TABELA 1. Apresentação dos modelos utilizados.

Modelo	Modelo
Kozak	$\left(\frac{D_i}{DAP}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \epsilon_i$
Schöepfer	$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \beta_4 x^4 + \beta_5 x^5 + \epsilon_i$
Hradetzky	$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 x^{p_1} + \beta_2 x^{p_2} + \dots + \beta_n x^{p_n} + \epsilon_i$

Onde: D_i = diâmetro na posição i do fuste; DAP = diâmetro à altura do peito (1,30 m do solo); $x = h_i/HT$, onde h_i = altura i do fuste e HT = altura total da árvores, β_i = parâmetros do modelo e ϵ_i = erro de estimativa.

Para avaliar a precisão dos modelos foram calculadas as estatísticas de correlação (r) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) e para avaliar a acurácia, foram utilizadas as estatísticas de desvio (D), desvio padrão das diferenças (SD), soma do quadrado do resíduo relativo (SSRR) e porcentagem dos resíduos (RP) em cada posição avaliada, onde foram atribuídos valores de 3 a 1, sendo 1 a nota da situação que apresentou a maior acurácia. O diâmetro gerado em cada estimativa foi comparado com o diâmetro real, observado em campo utilizando o teste F de Graybill e considerando um nível de significância $\alpha = 0,05$.

Resultados e Discussão

De modo geral, o polinômio das potências fracionárias e inteiras (Modelo de Hradetzky) foi a abordagem que apresentou os melhores valores das estatísticas de correlação (r) e de raiz quadrada do erro médio (RMSE). Esse resultado era o esperado,

pois o modelo de Hradetzky por possuir potências variáveis, tem maior flexibilidade de se ajustar a diferentes bases de dados (SILVA et al., 2011; TEO et al., 2018). Porém, essas estatísticas não são suficientes para a tomada de decisão da escolha do modelo, uma vez que são calculadas considerando os valores médios de cada situação, ou seja, sofrem interferência de possíveis valores extremos (NICOLETTI, et al., 2018). Além de não permitirem uma avaliação das estimativas ao longo do fuste.

TABELA 2. Resultados da avaliação de precisão e acurácia.

Modelo	Correlação (r)	RMSE (cm)	Nota Ranking
Hradetzky	0,992010	0,863442	139
Schöepfer	0,991176	0,960620	191
Kozak	0,973775	1,636324	222

A principal dificuldade na utilização de modelos não segmentados é a estimativa dos diâmetros próximos ao solo (BERNARDI et al., 2021). O ápice dos fustes dos indivíduos arbóreos também apresenta uma dificuldade para a estimativa de diâmetros por funções de afilamento. Neste trabalho, todos os modelos testados apresentaram os maiores erros na porção superior do fuste, onde ocorrem os menores diâmetros. Este comportamento também foi observado nos estudos de Schikowski et al. (2015). Na avaliação de acurácia, o modelo de Hradetzky se destacou dos demais, seguido pelo modelo de Schöepfer e o modelo de Kozak em último lugar, conforme apresentado na tabela 2, resultado semelhante ao do estudo de Figueiredo et al., (2006).

Por fim, os resultados de estimativa dos diâmetros de cada modelo foram comparados com os valores dos diâmetros observados, utilizando o Teste F de Graybill, conforme tabela 3. Entre os modelos ajustados, o único que não apresentou diferença estatística entre os valores reais e estimados foi o modelo de Hradetzky, consolidando toda a análise estatística apresentada neste estudo.

TABELA 3. Resultado do Teste de Graybill.

Modelo	Fcal	p valor
Kozak X Observado	325,171	0*
Schöepfer X Observado	21,5811	0*
Hradetzky X Observado	6,0616	0,0138 ^{ns}

* = significativo para $\alpha=0,05$, ^{ns}= não significativo para $\alpha=0,05$.

O Teste F de Graybill mostrou que não houve diferenças estatísticas entre os diâmetros observados e estimados pelo modelo de Hradetzky. Já para os demais modelos avaliados a estatística F foi altamente significativa, evidenciando diferenças estatísticas entre o diâmetro observado e estimado.

Conclusões

Entre os modelos não-segmentados avaliados neste estudo, o modelo de Hradetzky foi o único que apresentou acurácia sendo o recomendado para estudos de afilamento para o mogno africano de povoamentos localizados no norte de Minas Gerais.

Referências Bibliográficas

BERNARDI, L. K. et al., **Diferentes modelos para o afilamento do tronco de Eucalyptus sp. para o cenário florestal brasileiro.** Ciência Florestal, v. 31, p. 1364-1382, 2021.

FIGUEIREDO, E. O., SCOLFORO, J. R. S., & OLIVEIRA, A. D. D. **Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de Tectona grandis Lf.** Acta amazônica, v. 36, p. 465-482, 2006.

NICOLETTI, M. F. et al. **Modelagem não linear para descrever o afilamento do fuste em pinus taeda.** Brazilian Journal of Biometrics, v. 36, n. 4, p. 846-859, 2018.

SCHIKOWSKI, A. B., DALLA CORTE, A. P. A., & SANQUETTA, C. R. **Estudo da forma do fuste utilizando redes neurais artificiais e funções de afilamento.** Pesquisa Florestal Brasileira, v. 35, n. 82, p. 119-127, 2015.

SILVA, F. D., DALLA CORTE, A. P. A., & SANQUETTA, C. R. **Taper functions to describe the stem profile and total bole volume for Pinus caribaea var. hondurensis in the Triangulo Mineiro.** Volume 91, Pags. 367-376, 2011.

TEO, S. J., MIGUEL, E. P., & NASCIMENTO, R. G. M. **Taper models and stem form of Eucalyptus, in different site qualities.** Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais, v. 6, n. Especial, 2018