

ESTIMATIVAS DE ALTURA PARA *Khaya ivorensis* A. CHEV PLANTADO NO NORTE DE MINAS GERAIS

HEIGHT ESTIMATES FOR *Khaya ivorensis* A. CHEV PLANTED IN THE NORTH OF MINAS GERAIS

Gabriel Augusto Eça¹ Maria Fernanda Fonseca Loic Aymard M'foumyt M'foumyt Poliana Camila Alves de Oliveira Carlos Alberto Araújo Junior Adriana Leandra de Assis Christian Dias Cabacinha

RESUMO

A espécie *Khaya ivorensis* A. CHEV, o Mogno Africano, se tornou conhecida pela beleza de sua madeira e suas propriedades físicas e mecânicas. É uma espécie em que se tem pouco conhecimento a respeito de seu manejo, e visto que as áreas plantadas com esta espécie vêm crescendo nos últimos anos, é necessário suprir a carência de informações e estudos técnicos e científicos para a espécie. O objetivo deste trabalho foi ajustar relações hipsométricas para *Khaya ivorensis* avaliando quatro modelos e três estratégias de ajuste. Para o ajuste das equações utilizou-se uma base de dados de inventário florestal com 38 parcelas circulares de 1018 m² distribuídas sistematicamente em 11 talhões e 4 estratos contendo as medições de diâmetro a 1,30 metros de altura e altura total das duas fileiras centrais das parcelas. Os dados do inventário florestal foram coletados em plantios de *Khaya ivorensis*, com idades de 4, 7, 8 e 9 anos, localizado no norte de Minas Gerais. Os ajustes das relações foram feitos para três estratégias de ajustes: parcela, talhão e estrato, variando o número de árvores em cada estratégia de ajuste. Para a primeira estratégia foram consideradas 15 árvores por parcela, na segunda sete árvores por parcela agrupando os dados por talhão e a terceira cinco árvores por parcela agrupando os dados por estrato de idade. Os melhores resultados das estatísticas analisadas foram obtidos para os ajustes por estratos medindo-se cinco árvores por parcela e agrupando os dados por estrato de idade, além disso o estudo apresentou estatísticas superiores a outros trabalhos para a mesma espécie.

Palavras-chaves: Mogno Africano; relação hipsométrica; inventário florestal.

ABSTRACT

The *Khaya ivorensis* A. CHEV species, the African Mahogany, has become known for the beauty of its wood and its physical and mechanical properties. It is a species that has little knowledge about its management, and since the areas planted with this species have been growing in the last years, it is necessary to supply the lack of information and technical and scientific studies for the species. The objective of this work was to adjust hypsometric relationships for *Khaya ivorensis* by evaluating four models and three adjustment strategies. For the adjustment of the equations a forest inventory database was used with 38 circular plots of 1018 m² systematically distributed in 11 plots and 4 strata containing the measurements of diameter at 1,30 meters of height and total height of the two central rows of the plots. The forest inventory data were collected in plantations of *Khaya ivorensis*, aged 4, 7, 8 and 9 years, located in the north of Minas Gerais. The adjustments of the relationships were made to three adjustment strategies: plot, stand and strata, varying the number of trees in each adjustment strategy. For the first strategy were considered 15 trees per plot, in the second, seven trees per plot grouping the data by stand and the third, five trees per plot grouping the data by strata. The best results of the analyzed statistics were obtained for the adjustments by strata measuring five trees per plot and grouping the data by strata, in addition the study presented statistics superior to other works for the same species.

Keywords: African Mahogany; hypsometric relationship; forest inventory.

INTRODUÇÃO

A espécie *Khaya ivorensis* (Mogno Africano) foi cultivada inicialmente no Brasil no ano de 1976 por meio de plantios seminais, as primeiras sementes foram doadas pelo pesquisador Falesi e plantadas na região norte brasileira. As primeiras árvores da espécie iniciaram seus processos de produção de sementes, que foram então espalhadas para outros estados do país (POLTRONIERI et al., 2000; CONDE, 2006; KRISNAWATI et al., 2011).

Com o passar dos anos a madeira de *Khaya ivorensis* se tornou conhecida pela sua beleza, elevada durabilidade, fácil secagem e manuseio. É amplamente utilizada na indústria moveleira, construção naval,

¹Estudante de Engenharia Florestal, Graduando, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Avenida Universitária, 1000, CEP 39404-547, Montes Claros (MG), Brasil. E-mail: gabriel.augusto.ica@gmail.com

interiores de carros de luxo e design de interiores de casas sofisticadas. A espécie apresenta características marcantes como crescimento elevado em altura e diâmetro extremamente largo, as alturas para árvores adultas variam de 30 a 35 metros, havendo casos de ultrapassarem os 60 metros, já o diâmetro pode atingir até 2 metros (PINHEIRO et al., 2011).

Com indivíduos chegando a 35 metros de altura em um povoamento, se torna difícil e muito oneroso a medição de alturas durante um inventário florestal, por isso é necessário utilizar técnicas que otimizem o trabalho de maneira precisa.

Durante a execução de um inventário florestal as árvores que compõem a parcela têm os seus diâmetros medidos, porém a altura é medida apenas de algumas árvores. Obtendo os valores das variáveis altura e diâmetro é possível estabelecer uma relação de regressão da altura em função do diâmetro, tal relação é utilizada na estimação das alturas de todas as outras árvores da parcela conforme os diâmetros medidos (MACHADO et al., 1993).

Devido a pouca informação técnico científica a respeito da cultura de *Khaya ivorensis*, este estudo teve como objetivo testar diferentes relações hipsométricas, ajustando os modelos para parcela, talhão e estrato com diferentes números de árvores com alturas medidas durante o inventário, afim de avaliar a diminuição do esforço amostral e assim aumentar as informações a respeito desta espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Os dados para a realização deste trabalho foram obtidos em um inventário florestal de um povoamento, situado no município de Corinto, no norte de Minas Gerais (Latitude: 18°25'74'' e Longitude: 44°25'71''), em uma área de *Khaya ivorensis* de aproximadamente 180 hectares. O plantio é seminal e está estabelecido em espaçamentos variando de 4,15 x 5,15 metros, 6 x 4,75 metros e 6 x 5,15 metros, com 11 talhões nas idades de 4, 7, 8 e 9 anos. O clima é caracterizado como tropical e classificado como Aw segundo Köppen e Geiger. A temperatura média anual no município é em torno de 22,4 °C, as chuvas são mais frequentes no verão e a pluviosidade média anual é de 1157 mm.

Coleta de dados

Foram distribuídas de forma sistemática 38 parcelas circulares na área com um raio de 18 metros, conseguindo captar cerca de 45 a 55 indivíduos por parcela. Todos os indivíduos tiveram os seus diâmetros a altura de 1,30 metros (DAP) medidos com uma fita diamétrica, as medidas de altura total foram tomadas apenas das árvores pertencentes as fileiras centrais de cada parcela, contabilizando cerca de 15 árvores por parcela, as medições de altura foram efetuadas com o dendrômetro CRITERION RD 1000.

Processamento dos dados

Após a coleta de dados foi realizado uma estratificação no povoamento, dividindo a floresta em 4 estratos: estrato 1 considerando todos os talhões que foram plantados no ano de 2009, estrato 2 considerando todos os talhões que foram plantados no ano de 2010, estrato 3 considerando todos os talhões plantados no ano de 2011 e o estrato 4 considerando todos os talhões plantados no ano de 2014.

Para os ajustes das relações por parcela foi utilizada a base de dados com medições de diâmetro e altura de 15 árvores por parcela. Para os ajustes por talhão foi utilizado a base de dados com medições de diâmetro e altura de 7 árvores por parcela e agrupou-se os dados por talhão. Nos ajustes por estrato, a base de dados utilizada foi composta por 5 árvores por parcela e agrupou-se os dados por estrato. Os dados obtidos do inventário florestal foram organizados em planilhas eletrônicas para realizar os ajustes das relações hipsométricas. Os ajustes dos modelos deste estudo foram feitos para as 38 parcelas, para os 11 talhões e para os 4 estratos. Foram utilizados os seguintes modelos de equações:

$$a) \text{ Modelo 1: } Ht = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \varepsilon \quad (1)$$

$$b) \text{ Modelo 2: } Ht = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_2(DAP^2) + \varepsilon \quad (2)$$

$$c) \text{ Modelo 3: } LnHt = \beta_0 + \beta_1(LnDAP) + \varepsilon \quad (3)$$

$$d) \text{ Modelo 4: } LnHt = \beta_0 + \beta_1(1/DAP) + \varepsilon \quad (4)$$

Em que: Ht = Altura total da árvore; DAP = Diâmetro medido a 1,30 do solo; β_0 , β_1 , β_2 = são os parâmetros dos modelos ajustados; ε = erro aleatório de cada modelo.

Os modelos foram ajustados com o uso software R Studio versão 3.3.0. (R CORE TEAM, 2017).

Análise estatística

Para avaliar a qualidade dos ajustes de cada modelo foram comparadas as estatísticas globais: erro padrão da estimativa (Syx), do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), os valores do critério de informação de Akaike (AIC), a raiz do erro médio quadrático em porcentagem (RMSE%), a correlação e os valores de viés. Também foi analisada a distribuição dos resíduos de cada modelo em cada estratégia de ajuste, para então definir qual a relação hipsométrica que melhor se ajustou a base de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, pode-se observar as estatísticas globais utilizadas para avaliar os modelos de relações hipsométricas nos ajustes por parcela, talhão e estrato, respectivamente.

Verifica-se que as melhores estatísticas foram obtidas para os ajustes realizados considerando o estrato e as piores considerando as parcelas. Na literatura florestal, ajustes de relações hipsométricas são recomendadas por parcela (SCOLFORO, 1997), para que os modelos capturem as relações diâmetro e altura de cada parcela, uma vez que no talhão ou estrato podem existir pequenas variações de solo que podem influenciar as relações de tais variáveis, contudo isso não foi observado neste estudo.

Estes resultados parecem estar associados ao fato destes plantios possuírem uma área total pequena (180 hectares) quando comparado a plantios de outras espécies florestais, da área em tela estar em uma mesma condição edafoclimática e nas estratégias de ajuste por talhão e por estrato onde várias observações foram agrupadas, melhorando os resultados das estatísticas de ajustes.

TABELA 1: Estatísticas globais para as relações hipsométricas ajustadas para a *Khaya ivorensis* em cada estratégia de ajuste.

TABLE 1: Global statistics for hypsometric relationships adjusted for *Khaya ivorensis* in each adjustment strategy.

| Estratégia | Modelo | R^2_{aj} | Syx (m) | AIC | RMSE% | Correlação | Viés |
|------------|--------|------------|---------|---------|-------|------------|---------|
| Parcela | 1 | 0,72 | 1,82 | 2125,08 | 10,90 | 0,87 | 0,00068 |
| | 2 | 0,72 | 1,79 | 2157,19 | 10,60 | 0,88 | 0,00057 |
| | 3 | 0,80 | 1,54 | 2120,53 | 10,54 | 0,89 | 0,00055 |
| | 4 | 0,81 | 1,50 | 2104,53 | 10,50 | 0,87 | 0,00053 |
| Talhão | 1 | 0,77 | 1,74 | 1107,07 | 10,63 | 0,87 | 0,00060 |
| | 2 | 0,77 | 1,73 | 1101,83 | 10,32 | 0,88 | 0,00054 |
| | 3 | 0,85 | 1,00 | 399,69 | 10,02 | 0,89 | 0,00053 |
| | 4 | 0,86 | 0,75 | 391,48 | 10,00 | 0,91 | 0,00052 |
| Estrato | 1 | 0,84 | 1,50 | 570,56 | 9,85 | 0,92 | 0,00060 |
| | 2 | 0,85 | 1,49 | 575,13 | 9,74 | 0,92 | 0,00042 |
| | 3 | 0,90 | 0,90 | 254,13 | 9,62 | 0,93 | 0,00037 |
| | 4 | 0,91 | 0,72 | 251,49 | 9,54 | 0,93 | 0,00032 |

Os parâmetros estimados das quatro relações hipsométricas para os estratos estão apresentados na Tabela 2.

De acordo com a estatística R^2_{aj} , que expressa o quanto as variações da variável dependente estão sendo explicadas pela variável(is) independente(s), verifica-se que os modelos 3 e 4, geraram os maiores valores. Outra estatística global avaliada foi o erro padrão residual (Syx), que expressa em termos médios o quanto os valores observados variam em relação aos valores estimados. Os modelos 1 e 2 geraram valores de erro padrão residual de 1,50 e 1,49 metros e os modelos 3 e 4, 90 e 72 centímetros, respectivamente. Quanto menor o valor desta estatística melhor a relação hipsométrica e de acordo com Scolforo e Thiersch (2004), as medições de altura não devem apresentar erro superiores a 80 cm, considerando este erro máximo, as relações 1 e 2 devem ser destacadas por apresentarem erros superior a 1,4 metros. A superioridade dos modelos 3 e 4 também foi observada quando se analisa o critério de informação de Akaike (AIC) que descreve a relação entre as variáveis dependentes e independentes de cada modelo, os modelos que apresentam os menores valores de AIC são os melhores ajustados.

A raiz do erro médio quadrático (RMSE%) em porcentagem é uma das estatísticas globais mais utilizadas para aferir a qualidade de ajustes de modelos e é definida como a raiz quadrada do erro médio, quanto menor o RSME% melhor o ajuste e mais uma vez os modelos 3 e 4 apresentaram os melhores resultados.

TABELA 2: Coeficientes estimados para cada relação hipsométrica ajustada para os estratos de *Khaya ivorensis* com idade entre 9, 8, 7 e 4 anos (estratos 1, 2, 3 e 4).

TABLE 2: Coefficients estimated for each hypsometric relationship adjusted for strata of *Khaya ivorensis* aged 9, 8, 7 and 4 years (strata 1, 2, 3 and 4).

| Modelo | Estrato | β_0 | β_1 | β_2 | Modelo | Estrato | β_0 | β_1 | β_2 |
|--------|---------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 1 | 4,4413 | 0,7236 | - | 3 | 1 | 0,8622 | 0,6903 | - |
| | 2 | 3,3697 | 0,8007 | - | | 2 | 0,6832 | 0,7613 | - |
| | 3 | 4,7669 | 0,8861 | - | | 3 | 0,9905 | 0,7183 | - |
| | 4 | 8,2966 | 0,7523 | - | | 4 | 2,0816 | 0,3334 | - |
| 2 | 1 | 12,0460 | -0,2383 | 0,0294 | 4 | 1 | 3,4308 | -10,2397 | - |
| | 2 | 14,6504 | -0,5979 | 0,0415 | | 2 | 3,5588 | -11,8053 | - |
| | 3 | 27,7350 | -2,2463 | 0,1047 | | 3 | 3,7692 | -12,0167 | - |
| | 4 | 34,8942 | -4,4840 | 0,2923 | | 4 | 4,1233 | -13,1939 | - |

A correlação indica o grau de relação entre as alturas observadas e estimadas por cada modelo. Para esta estatística os modelos que apresentarem os valores mais próximos de um, contém uma correlação maior entre as alturas, e também os modelos 3 e 4 que geraram as maiores correlações. Para os valores do viés os modelos 3 e 4 também se destacaram como os que apresentaram os menores valores, isto porque esta estatística analisa uma possível distorção que pode ocorrer entre a altura real e a estimada, para que o modelo de regressão se destaque dos demais este deve apresentar o menor valor de viés e isto pode ser observado para os modelos 3 e 4.

Ao avaliar analisar especificamente as estatísticas para os modelos 3 e 4, observa-se que o modelo 4 gerou os melhores resultados.

Silva et al. (2015) em estudo realizado com plantios de *Khaya ivorensis* em Pirapora, encontrou para as equações hipsométricas avaliadas valores de R^2_{aj} de 0,73 e 0,69 e valores de S_{yx} de 2,00 e 2,15 metros. Estes resultados quando comparados com os resultados deste estudo demonstra a superioridade das relações hipsométricas obtidas por estrato neste estudo para todos os modelos avaliados. Ressalta-se que a base de dados de Silva et al. (2015) era composta por 159 árvores que foram selecionadas aleatoriamente no plantio.

Segundo Ofori et al. (2007) estas diferenças entre as estatísticas de ajuste podem ser atribuídas ao fato de que as diferentes progênies de Mogno Africano podem apresentar desempenhos distintos no desenvolvimento da altura. Podem também estar associadas às estratégias de ajustes utilizadas.

Avaliando a dispersão dos resíduos dos ajustes por estrato (Figura 1), observa-se que não há tendenciosidade para nenhum dos modelos ajustados e todos apresentaram dispersões residuais semelhantes.

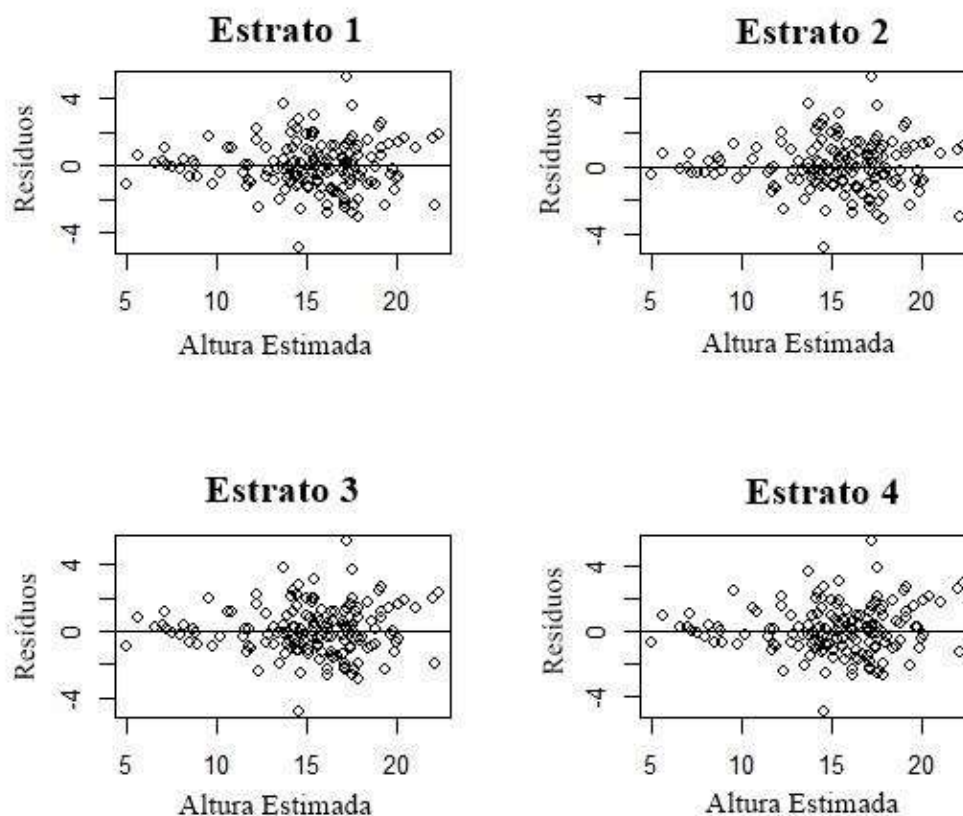


FIGURA 1: Distribuição dos resíduos da relação hipsométrica ajustada ao modelo 4 para os estratos de *Khaya ivorensis* com idade entre 4, 7, 8 e 9 anos plantados no município de Corinto, no norte de Minas Gerais.

FIGURE 1: Residuals distribution of hypsometric relation adjusted for *Khaya ivorensis* extracts with aged between 4, 7, 8 and 9 years planted in the city of Corinto, in the north of Minas Gerais.

CONCLUSÃO

As relações hipsométricas ajustadas para este trabalho apresentaram estatísticas globais de moderada a forte, quando comparadas a outro estudo para a mesma espécie, contudo são necessários mais estudos a respeito da modelagem do crescimento de *Khaya ivorensis*. Os ajustes para os estratos foram de fato superiores do que para as parcelas e talhões, concluindo assim, que foi possível reduzir o esforço amostral para as medições de altura no inventário florestal de *Khaya ivorensis*, podendo otimizar o tempo e diminuir os custos do inventário. Os resultados obtidos foram considerados aceitáveis, levando em conta a falta de informação técnico científica da cultura da espécie e variabilidade do plantio, visto que é constituído de um plantio seminal em diferentes espaçamentos e idades.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (FUNDEP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONDE, R. A. R. **Controle silvicultural e mecânico da broca do mogno *Hypsipyla grandella* (Zeller, 1848) (Lepidoptera; Pyralidae) em sistema agroflorestal**. 2006. Dissertação (mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006.
- KRISNAWATI, H.; KALLIO, M.; KANNINEN, M. *Swietenia macrophylla* King: ecology, silviculture and productivity. **CIFOR**, [s.l.], p. 24, 2011.

- MACHADO, S. A.; BASSO, S. F.; BEVILACQUA JUNIOR, V. G. Teste de modelos matemáticos para o ajuste da relação hipsométrica em diferentes sítios e idades para plantações de *Pinus elliottii* no Estado do Paraná. 1993, Curitiba. **Anais: Congresso Florestal Brasileiro**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. v. 2, p.553-556.
- OFORI, D. A.; OPUNI-FRIMPONG, E.; COBBINAH, JR. Provenance variation in *Khaya* species for growth and resistance to shoot borer *Hypsipyla robusta*. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 242, p. 438-443, 2007.
- PINHEIRO, A. L. **Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilizações dos mognos africanos (*Khaya* spp.)**. Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, 2011.
- POLTRONIERI, L. S. **Identificação de doenças em mogno-africano no Estado do Pará**. Belém. **Embrapa Amazônia Oriental**, v. 13, n. 18, p. Circular Técnica, 2000.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>. 2017.
- SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal 2: técnica de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira**. Lavras: Universidade Federal de Lavras. Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, 1997. 292 p.
- SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, C. R. **Biometria florestal: medição, volumetria e gravimetria**. Lavras: Universidade Federal de Lavras. Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, 2004. 285 p
- SILVA, F. L. et al. Equações Hipsométricas, Volumétricas e de Crescimento para *Khaya ivorensis* Plantada em Pirapora. **Floresta Ambiente**, [s.l.], v. 23, n. 3, p. 362-368, 2016.