

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIA AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

ANTONIO JOSÉ SOARES FERREIRA

**EQUAÇÕES DE VOLUME PARA *KHAYA SENEGALENSIS* EM UM SISTEMA
SILVIPASTORIL**

Imperatriz – MA

2025

F383e

Ferreira, Antonio José Soares

Equações de volume para *Khaya senegalensis* em um sistema silvipastoril. /
Antonio José Soares Ferreira. – Imperatriz, MA, 2024.

15 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Florestal) –
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL,
Imperatriz, MA, 2024.

1. Volumetria. 2. Cubagem rigorosa. 3. Mogno-africano. 4. Imperatriz - MA.
I. Título.

CDU 630.4

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Kacio Micael Oliveira Vidal CRB13/988**

ANTONIO JOSÉ SOARES FERREIRA

**EQUAÇÕES DE VOLUME PARA *KHAYA SENEGALENSIS* EM UM SISTEMA
SILVIPASTORIL**

Trabalho de curso apresentado ao Centro de
Ciência Agrárias da Universidade Estadual da
Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL,
para Conclusão de Curso de Engenharia Florestal
1.

Orientadora: Jaqueline Macedo Gomes

Imperatriz – MA

2025

ANTONIO JOSÉ SOARES FERREIRA

**EQUAÇÕES DE VOLUME PARA *KHAYA SENEGALENSIS* EM UM SISTEMA
SILVIPASTORIL**

Trabalho de curso apresentado ao Centro de
Ciência Agrárias da Universidade Estadual da
Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL,
para Conclusão de Curso de Engenharia Florestal
1.

Orientadora: Jaqueline Macedo Gomes

Data de aprovação: 17/01/2025

Banca Examinadora

Jaqueline Macedo Gomes

Profa. Dr. Jaqueline Macedo Gomes

Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente
gov.br NISANGELA SEVERINO LOPES COSTA
Data: 22/01/2025 18:39:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dr. Nisângela Severino Lopes Costa

Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Cristiane matos da silva.

Profa. Dr. Cristiane Matos da Silva

Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	169
MATERIAIS E MÉTODOS.....	170
Área de estudo	170
Coleta e análise de dados	171
RESULTADOS E DISCUSSÃO	173
CONCLUSÃO	175
REFERÊNCIAS	176

EQUAÇÕES DE VOLUME PARA *KHAYA SENEGALENSIS* (DESR.) A. JUSS. EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL

VOLUME EQUATIONS FOR *KHAYA SENEGALENSIS* (DESR.) A. JUSS. IN A SILVOPASTORAL SYSTEM

Antonio José Soares Ferreira¹ - UEMASUL
Jaqueline Macedo Gomes² - UEMASUL
Chaiane Rodrigues Schneider³ - UEMASUL

RESUMO

A pesquisa teve por objetivo ajustar modelos volumétricos para *Khaya Senegalensis* (Desr) A. Jus. A área de estudo possui 9,8 ha e está localizada no município de Lajeado Novo - MA. Em 2020 foram instaladas 37 parcelas com área de 800 m², distribuídas aleatoriamente. A partir do inventário selecionou-se 133 árvores para a cubagem rigorosa, das quais 113 foram utilizadas no ajuste das equações e 20 para validação estatística. O melhor modelo foi selecionado analisando os parâmetros: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão de estimativa, desvio médio percentual, análise gráfica dos resíduos e valor ponderado. O modelo de Stote apresentou o melhor ajuste ($R^2 = 0,805$, $Syx\% = 16,84$, $DMP = 0,11$), logo é o mais indicado para a estimativa de volume para *Khaya Senegalensis* (Desr) A. Jus., para a região estudada.

PALAVRAS-CHAVE: Volumetria. Cubagem rigorosa. Mogno-africano

ABSTRACT

The objective of this research was to adjust volumetric models for *Khaya Senegalensis* (Desr) A. Jus. The study area has 9.8 ha and is located in the municipality of Lajeado Novo – MA. In 2020, 37 plots with an area of 800 m² were installed, randomly distributed. From the inventory, 133 trees were selected for rigorous cubing, of which 113 were used to adjust the equations and 20 for statistical validation. The best model was selected by analyzing the following parameters: adjusted coefficient of determination, standard error of estimate, average percentage deviation, graphical analysis of residuals and weighted value. Stote's model showed the best fit ($R^2 = 0.805$, $Syx\% = 16.84$, $DMP = 0.11$) and is therefore the most suitable for estimating the volume of *Khaya Senegalensis* (Desr) A. Jus. for the region studied.

KEYWORDS: Volumetry. Rigorous cubing. *Khaya*

¹Graduando em Engenharia Florestal pela Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Centro de Ciências Agrárias. E-mail: antonio.soaresferreira.5as@gmail.com /ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3901-2048>.

²Doutora em Ciências Florestais pela UFRA. Docente do Centro de Ciências Agrárias da UEMASUL. E-mail: jaquelinegomes@uemasul.edu.br / ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9506-6747>.

³ Doutora em Engenharia Florestal pela UFPR. Docente do Centro de Ciências Agrárias da UEMASUL. E-mail: chai.rodriuesschneider@gmail.com / ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7839-1740>.

INTRODUÇÃO

O decréscimo do consumo de matéria-prima com origem de florestas nativas é devido às pressões ecológicas que visam diminuir sua exploração e, por consequência, ocorre uma diminuição no fornecimento de madeira para as serrarias. Para solucionar estas problemáticas no setor florestal, surge a necessidade de implementação de florestas plantadas para produção de madeira de qualidade e quantidade compatível com a expectativa do mercado (Alves Júnior *et al.*, 2016).

Novas espécies foram introduzidas no mercado de florestas plantadas com o intuito de suprir a necessidade por matéria-prima de qualidade proveniente de manejo sustentável. Algumas das espécies introduzidas pertencem ao gênero *khaya* spp., com as seguintes espécies: *Khaya anthotheca* (Welw.) C. DC.; *Khaya grandifoliola* C. DC.; *Khaya ivorensis* A. Chev. (Falesi; Baena, 1999; Loupe *et al.*, 2008; Pinheiro *et al.*, 2011). No Brasil, o mogno-africano foi introduzido primeiramente para substituir o mogno-brasileiro (*Swietenia macrophylla* King), devido a sua susceptibilidade à broca-do-ponteiro (*Hypsipyla grandella* Zeller), principal praga que atinge a espécie e prejudica a produção no centro-oeste e norte brasileiro. O mogno-africano também foi inserido pela existência de outra praga que atinge a espécie e que não se localiza no país, que é a *Hypsipyla robusta* Moore que ataca as espécies na área de ocorrência natural (Klein *et al.*, 2016).

Das demais espécies exóticas do gênero *Khaya* spp., introduzidas e produtoras de madeiras nobres no Brasil, o mogno-africano, *Khaya senegalensis* (Desr.) A Juss., da família Meliaceae, tem aptidão para cultivo em locais secos de transição para savana, matas ripárias e em savanas africanas com altitudes de aproximadamente 1500 metros, suporta climas mais secos e períodos prolongados de seca (entre 4 e 7 meses) (Pinheiro *et al.*, 2011). De acordo com Casaroli *et al.* (2019) esta espécie tem condições e características edafoclimáticas propícias para a produção de madeira no estado do Maranhão.

Segundo Ribeiro *et al.* (2019), o mogno-africano é uma boa opção de investimento, devido as altas taxas internas de retorno, entre 14% e 25%, superior à maioria das outras espécies no mercado. Entretanto, os autores destacam que o sucesso do investimento está diretamente ligado ao planejamento e à condução adequada do povoamento. O elevado valor econômico da espécie somado à sua beleza, durabilidade da madeira e crescimento relativamente rápido, estimulam o seu plantio (Castro *et al.*, 2008). Contudo, as informações de seu comportamento silvicultural ainda são incipientes, e causam um impacto negativo para o desenvolvimento da cultura no país. Portanto, assim como para as demais espécies florestais comerciais, é decisivo monitorar o seu crescimento, para o correto planejamento e quantificação de seus recursos madeireiros, não-madeireiros, e de seus processos dinâmicos, precisamente para tomadas de decisão sobre medidas silviculturais necessárias (Sanquetta *et al.*, 2014).

A cubagem rigorosa tem uma grande importância, pois caracteriza o crescimento e a relação entre o diâmetro ao longo do tronco, e pode ser obtida por meio dos métodos e fórmulas de Smalian, FAO, Huber, Newton, xilômetro entre outros (Machado *et al.*, 2019). Apesar da cubagem rigorosa fazer o cálculo de volume dos indivíduos, é preciso elaborar equações para estimar com precisão o volume florestal, portanto, a utilização de técnicas de modelagem que advém de métodos estatísticos e ferramentas computacionais para obter estimativas de volume (Ramos, 2012; Binot *et al.*, 2014), tornam-se essenciais, pois geram informações para o manejo e produção de matéria-prima.

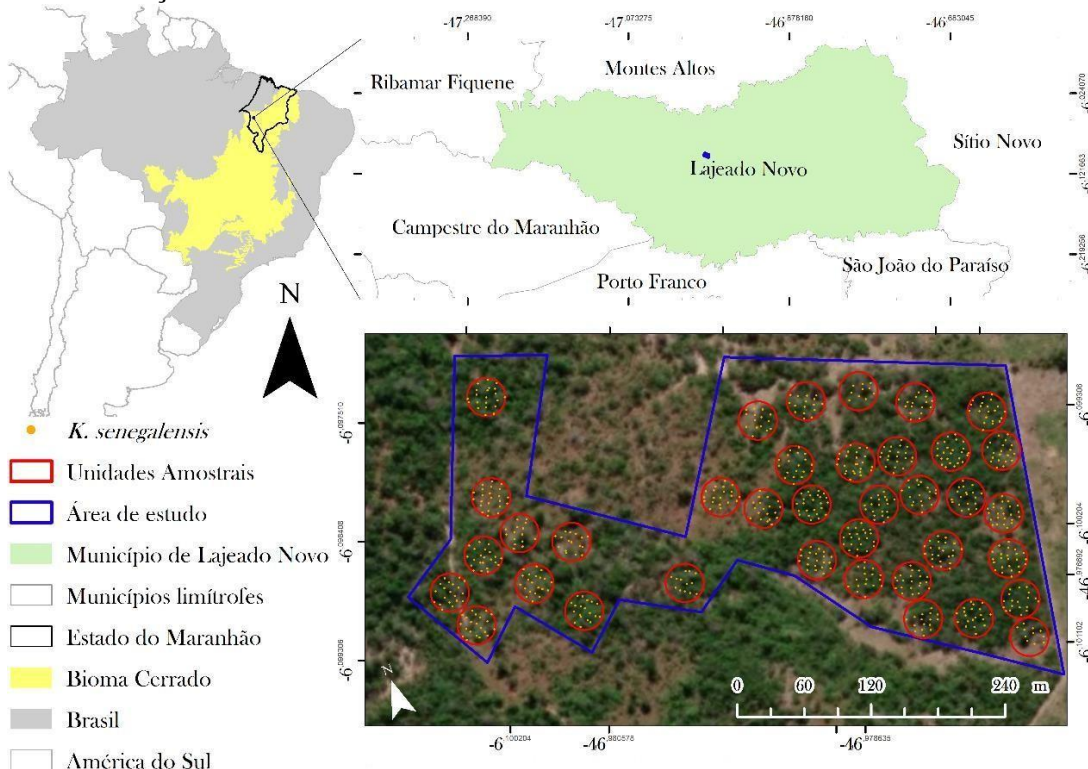
Para uma estimativa de volume, são utilizados modelos ajustados por meio de regressão para adquirir resultados precisos do povoamento (Husch *et al.*, 2003). Assim, a construção de equações volumétricas é fundamental para a produção florestal, pois permite analisar o crescimento do povoamento, além de prever a produção de matéria-prima ao longo do ciclo, que possibilita diferentes tipos de exploração em determinado tempo do cultivo (Silva *et al.*, 2019). Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo ajustar equações de volume para *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., para plantio em sistema silvipastoril, no município de Lajeado Novo – MA.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área do estudo está localizada no Rancho São Lucas, no município de Lajeado Novo no estado do Maranhão nas coordenadas geográficas de latitude e longitude (6°05' 58" S e 46° 58' 40" W), pertencente à microrregião de Imperatriz (Figura 1). A área ocupada pelo povoamento é de 9,8 hectares, com árvores de dois anos de idade.

Figura 1 – Mapa de localização do Rancho São Lucas e a distribuição das unidades amostrais de mensuração dos indivíduos – MA



Fonte: IBGE, DATUM: SIRGAS 2000, Projeção UTM – Zona 23 S, Autoria: Chaiane Rodrigues Schneider.

O clima da região segundo a classificação de Köppen-Geiger é do tipo Aw, tropical quente e semiúmido, com invernos secos e verões chuvosos, com precipitação média anual

entre 1300 e 1600 mm (Alvares *et al.*, 2013). A precipitação média anual foi determinada em 1220 mm, com um período chuvoso de novembro a maio (Meneses, 2009). A geologia é marcada pela bacia do Parnaíba, pelo planalto ocidental do grupo Balsas e formação Pedra de Fogo, com pedologia Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (IBGE, 2011). O relevo da região é caracterizado pelo planalto ocidental formando uma depressão de morfoescultura se prolongando até a depressão de Balsas, que é constituída por altitudes de 350 metros (Feitosa; Trovão, 2006). O solo é representado por Podzólico Vermelho Amarelo, Latossolo Amarelo, Solos Litólicos, Terra Roxa e Areias Quartzosas, representada pela formação mosquito, feita por derrames de basálticos e intercalação sedimentar (Aguiar, 1971). A vegetação é caracterizada pelo bioma Cerrado, com fitofisionomia marcada por formações savânicas de Parque de Cerrado e formações florestais de Mata de Galeria (Ribeiro *et al.*, 2008; IBGE, 2011).

Coleta e análise de dados

Os dados analisados decorrem de um sistema silvipastoril rotativo, com dois anos de instalação. O sistema foi implantado no ano de 2020, em uma área de 9,8 ha, utilizando um espaçamento no plantio de 5 m x 8 m e 5 m x 7 m. Foram instaladas 37 parcelas permanentes no formato circular com área de 800 m², distribuídas aleatoriamente (Figura 1).

A partir do inventário, foram selecionadas aleatoriamente para a cubagem rigorosa 133 árvores, com altura variando de 2,35 - 6,27 m e diâmetro variando de 6,0 – 17,5 cm. Dentre as 133 árvores cubadas, foram retiradas 20 árvores (15%) para a validação estatística das equações ajustadas, e com as 113 árvores remanescentes foram feitos os ajustes dos modelos volumétricos.

Na validação estatística das equações foi utilizado o teste Qui-quadrado (χ^2) ao nível de significância de 5%, na qual foram testadas as seguintes hipóteses: H0: Não existe diferença significativa entre o volume real e o volume estimado pelas equações; e H1: Existe diferença significativa entre o volume real e o volume estimado pelas equações.

A cubagem e cálculo dos volumes, seguiu o método de Smalian (Equação 1), bastante utilizado no setor florestal. É definido pela média das áreas transversais (g_1 e g_2) dos extremos da seção multiplicada pelo seu comprimento (Machado, 2009).

Equação 1: Volume real segundo o método de Smalian

$$V = \frac{g_1 + g_2}{2} \times L \qquad g = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

Em que: v = volume, g_1 e g_2 = áreas transversais, L = comprimento da seção, g = área transversal da árvore “i”; $\pi = 3,141592653$; d = DAP (diâmetro a 1,30 m do solo).

Foram mensurados o diâmetro a altura de 1,30m do solo (DAP) de todos os indivíduos e a circunferência do tronco em 0,10 cm a partir da base da árvore e em seguida com seções de 2 metros. Com os dados de volumes obtidos pela cubagem rigorosa, foram ajustados os modelos (Quadro 1).

Quadro 1 - Modelos volumétricos ajustados para *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss

Nº	Modelos volumétricos	Autores
1	$V = \beta_0 + \beta_1 \times (\text{DAP}^2\text{H}) + \epsilon$	Spurr (1952)

2	$V = \beta_0 + \beta_1(H) + \beta_2(DAP)^2 + \beta_3(DAP^2H) + \epsilon$	Stote (1945)
3	$V = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_2(H) + \epsilon$	Schumacher e Hall (1933)
4	$V = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_2(DAP)^2 + \epsilon$	Hohenadl e Krenn
5	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 \left(\frac{1}{DAP} \right) + \ln(\epsilon)$	Brenac
6	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \ln(\epsilon)$	Husch (1963)

Bn = coeficientes a serem estimados, v = volume total (m³), H = altura total (m), DAP = diâmetro a 1,30 m do solo (cm), Ln = logaritmo natural.

Fonte: Quadro adaptado pelos autores (2023), a partir de Campos e Leite (2009), Sanquetta (2014).

Os critérios para as análises do melhor modelo volumétrico ajustado foram: teste F, coeficiente de determinação ajustado (R²ajus.), Erro padrão da estimativa em porcentagem (Sxy%), erro padrão da estimativa ajustado (SxyAjus.%), desvio médio percentual (DMP), valor ponderado (VP), além da análise gráfica dos resíduos.

Quadro 2 – Critérios utilizados para a análise do melhor modelo volumétrico ajustado

Critério	Equação
Coeficiente de determinação (R ² ajust.)	$R^2_{Ajust.} = 1 - (1 - R^2) \times \left(\frac{n - 1}{n - k - 1} \right)$
Erro padrão da estimativa em porcentagem (Sxy%)	$Sxy\% = \frac{\sqrt{QMR}}{\bar{y}} \times 100$
Erro padrão da estimativa ajustado (SxyAjus.%)	$SxyAjust.\% = \left(\frac{\left(\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n - p - 1} \right)}{\hat{y}} \right) \times 100$
Desvio médio percentual (DMP)	$DMP = \left(\frac{v_0 - v_e}{v_0} \right) \times 100$

Nota: n = número de observações, k= números de coeficiente ajustados, QMR = quadrado médio do resíduo, Sxy% = erro padrão da estimativa em porcentagem; \bar{Y} = volume médio real, y = volume observado; \hat{y} = volume estimado; n = número de observações; p = número de coeficiente; \bar{y} = média do volume.

Fonte: Quadro adaptado pelos autores (2023), a partir de Campos e Leite (2009), Sanquetta (2014).

O Teste F é utilizado para verificar a existência de correlação entre as variáveis independentes e dependente, calculado pela razão entre o quadrado médio da regressão e o quadrado médio do resíduo (Francez *et al.*, 2017). O Coeficiente de determinação (R² ajustado) é o quanto a relação entre as variáveis é explicada pelo modelo. Varia de 0 – 1 e quanto mais próximo de 1 melhor será o ajuste da equação. O Coeficiente de determinação Ajustado (R²Ajus.) é utilizado para comparar equações com diferentes números de coeficientes (Sanquetta *et al.*, 2014).

Erro padrão da estimativa em porcentagem (Sxy%) indica, em termos médios, o quanto os dados apresentados estão variando em relação aos observados, quanto mais próximo de zero, melhor será o ajuste (Leite *et al.*, 2011). Erro padrão da estimativa ajustado (SxyAjus.%) é utilizado para corrigir tendenciosidades em equações não lineares que foram linearizadas por meio de transformações logarítmicas.

O Desvio médio percentual (DMP) representa, em média, o quanto a equação está superestimando ou subestimando a população total. Quanto menor o valor do DMP, menor a super ou subestimativa e melhor será a equação (Francez *et al.*, 2017). O gráfico de resíduos avalia a qualidade dos ajustes, e o comportamento dos modelos ajustados evidenciando tendências. O gráfico de probabilidade normal segue proximidade uniforme à zero (eixo x), enquanto tendências com valores positivos ou negativos se afastam do eixo, nas discrepâncias das estimativas obtidas pelos ajustes (Morettin *et al.*, 2010).

O Valor Ponderado (VP) é um ranking dos parâmetros estatísticos (R^2 Ajus., Syx%, Syx Ajus., F, DMP). Os parâmetros são comparados entre os modelos e ranqueados em ordem de eficiência, sendo atribuído valor 1 para o mais eficiente e 6 para o menos eficiente. Os valores atribuídos para todos os parâmetros de cada modelo são somados e o melhor modelo é aquele que apresentar o menor valor ponderado e o gráfico de dispersão de resíduos com a distribuição mais homogênea. O Valor Ponderado é o método utilizado para assegurar uma melhor tomada de decisão nas escolhas quantitativas dos modelos ajustados (Thiersch *et al.*, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajus.) teve resultados no intervalo de 0,70 a 0,80 entre as equações testadas. Silva *et al.* (2015) com *Eucalyptus*, Fernandes *et al.* (2017) com *macrophylla* e Stepka *et al.* (2017) com *Pinus*, todas com idades de 2,5 anos a 10 anos, tiveram um valor de R^2 ajus. entre 0,70 e 0,96, valores aceitáveis para o ajuste, de acordo com a variação de idades das espécies. Nota-se que os resultados de R^2 ajus. obtidas na presente pesquisa estão no intervalo aceitável para o ajuste, conforme as literaturas supracitadas (Tabela 1).

Tabela 1 – Coeficientes ajustados e critérios estatísticos de ajuste e precisão para estimativas volumétricas do povoamento de *khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. em Lajeado Novo – MA

Modelos	β_0	β_1	β_2	β_3	R^2 Ajus.	Syx%	DMP
Spurr	0,00768	0,00005	-	-	0,70	20,88	-5,52
Hohenadl	-0,01144	0,00318	0,00009	-	0,76	18,51	-4,75
Schumacher – hall	-0,03667	0,00548	0,00325	-	0,80	17,06	-3,31
Stote	-0,01789	0,00609	0,00033	-0,00002	0,80	16,84	-4,13
Husch (LN)	-7,52888	1,73771	-	-	0,72	18,61	-2,77
Brenac (LN)	-5,63671	1,16516	5,62674	-	0,72	18,63	-2,77

β_0 , β_1 , β_2 , β_3 = coeficientes estimados; R^2 Ajus. = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão da estimativa; Syx Ajus. = Syx ajustado; DMP = desvio médio padrão.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os modelos de Schumacher-Hall e Stote, tiveram os maiores valores para coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajus. = 0,80), demonstrando que os ajustes tiveram uma tendência de similaridade. Os dois modelos obtiveram resultados mais próximos de 1 que é a relação mais interessante. Andrade *et al.* (2019), avaliou a volumetria de *khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. pelo método da altura relativa, e os modelos Schumacher-Hall (R^2 ajus.= 0,90) e Stote (R^2 ajus.= 0,93), tiveram os melhores valores entre 8 modelos ajustados. Assim pode se comprovar que de

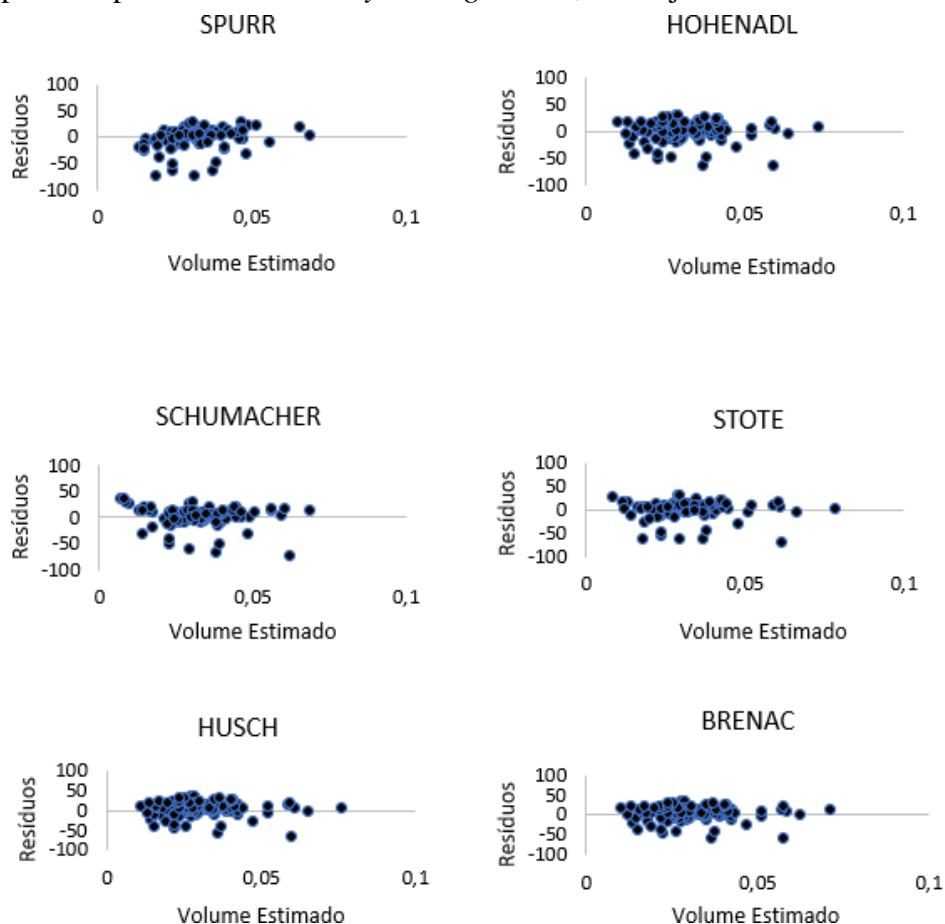
acordo com o citado acima, a equação de Schumacher-Hall e Stote foram as melhores equações testadas neste trabalho para a espécie, levando em consideração o parâmetro R^2 ajustado. Em relação aos demais modelos ajustados, cita-se de Spurr como menos interessante na estimativa de volume para a espécie estudada.

O mesmo se aplica ao erro padrão da estimativa ($Sy_x\%$), cuja porcentagem ficou entre 16,84% e 20,88%, com menor erro para o modelo de Stote, e o maior foi atribuído para o modelo de Spurr, respectivamente (Tabela 1). Sanquetta *et al.* (2017), na estimativa do volume de povoamentos jovens da Amazônia, adquiriu valores de $Sy_x\%$ de 15,21 para equação de Spurr, que também representou o maior erro para os modelos ajustados.

Todas as equações superestimaram os valores do volume. A equação que teve o maior desvio médio percentual foi a obtida pelo modelo de Spurr ($DMP = -5,52$), superestimando os valores de volume em 5,52% em comparação ao volume real. Para este critério, a equação mais atrativa é atribuída aos modelos de Hush e Brenac com $-2,77$ (Tabela 1).

Na análise gráfica dos resíduos, a distribuição mais uniforme tendo uma tendência de dispersão homogênea foi para as equações obtidas pelo ajuste dos modelos de Schumacher e Hall e Stote (Figura 2).

Figura 2 - Distribuição de resíduos para as equações volumétricas obtidas dos modelos ajustados para um povoamento de *khaya senegalensis*, em Lajeado Novo – MA



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

De maneira semelhante, Andrade *et al.* (2018), observaram que o modelo de Stote apresentou melhor distribuição de resíduos em relação ao eixo “x”, com menor amplitude de erros, e pequenas subestimações de dados. Isso sugeriu que tal modelo foi o melhor para o ajuste de volume de *Khaya Senegalensis* em Gurupi - TO.

Dados os critérios de avaliação dos modelos ajustados, recomenda-se o uso dos modelos de Schumacher-Hall e Stote para equações e estimativa de volume de *Khaya Senegalensis* (Desr) A. Jus., na região Tocantina do Maranhão. O teste de qui-quadrado corrobora para esta recomendação, uma vez que, não foram identificadas diferenças significativas entre os ajustes das equações em função do volume real e estimado.

Para ratificar e assegurar os resultados das análises comparativas das equações, o método de Valor Ponderado (VP), no ranking de importância de 1 a 6 perante todos os critérios analisados, evidenciou que a equação obtida pelo ajuste do modelo de Stote obteve o menor valor (VP= 7) (Tabela 2). Logo, o modelo de Stote é o mais recomendado para obter equações de estimativa de volume para *Khaya Senegalensis* (Desr) A. Jus., no município de Lajeado Novo – MA.

Tabela 2 – Valor ponderado para os critérios de avaliação do melhor modelo ajustado

Equação	R ² Ajus.	Syx%	Syx Ajus.	F	DMP	VP
Spurr	4 0,71	6 20,88	-	5 269,84	5 -5,52	20
Husch	3 0,72	-	4 18,61	6 293,85	1 -2,77	14
Hohenadl	2 0,77	3 18,51	-	3 187,25	4 -4,75	12
Brenac	3 0,72	-	5 18,64	1 146,96	1 -2,77	10
Schumacher-Hall	1 0,81	2 17,07	-	4 230,04	2 -3,31	9
Stote	1 0,81	1 16,85	-	2 158,70	3 -4,13	7

R² ajus. = R² ajustado; Syx% = erro padrão da estimativa em porcentagem; Syx ajus. = erro padrão ajustado; F= valor calculado do teste F; DMP= desvio médio percentual; VP= valor ponderado.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

CONCLUSÃO

Comparando os modelos ajustados para *khaya Senegalensis* (Desr) A. Jus., pôde-se constatar que o melhor ajuste foi para o modelo de Stote resultando na equação $v = -0,017897125 + 0,006092013 \times (H) + 0,000332627 \times (DAP)^2 + (-0,000023483 \times (DAP^2H))$, sendo, portanto, recomendada para estimativa de volume da espécie na região estudada.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, G. A. **Revisão geológica da bacia paleozóica do Maranhão**. Congresso Brasileiro de Geologia, 25, 1971, São Paulo. Anais. São Paulo: SBG, p. 113-122, 1971.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES JUNIOR. *et al.* Crescimento de mogno africano submetido a diferentes níveis de irrigação por microaspersão. **Irriga**, v. 21, n. 3, p. 466-480, 2016.
- ANDRADE, L. C. V.; GAMA, C. R. Equações hipsométricas e volumétricas para mogno africano no sul do tocantins. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 4, 2018.
- ANDRADE, L. C. V.; GAMA, C. R. **Volumetria de *Khaya Senegalensis* pelo método da altura relativa**. Universidade federal do Tocantins, Guruppi-TO, 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/7960/>. Acesso: 13 out. 2022.
- BINOTI, M. L. M. S. *et al.* Redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 283-288, 2014.
- CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. Mensuração florestal: perguntas e respostas. 3a ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 548 p.
- CASAROLI, D. *et al.* Zoneamento edafoclimático do mogno-africano (*Khaya ivorensis*) para o Brasil. In: REIS, C. A. F. *et al.* (Editores). **Mogno-africano (*Khaya spp.*): atualidades perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 378p. 2019.
- CASTRO, A. C. *et al.* Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. **Ciência Rural**, v. 38, n. 8, p. 2395-2402, 2008.
- FALESI, I. C.; BAENA, A. R. C. Mogno-africano *Khaya ivorensis* A. Chev. em sistema silvipastoril com leguminosa e revestimento natural do solo. Belém. **Embrapa Amazônia Oriental**. Documentos 4, 52p. 1999.
- FEITOSA, A. C.; TROVÃO, J. R. **Atlas escolar do Maranhão: espaço geo-histórico e cultural**. João Pessoa: Grafset. 2006.
- FERNANDES, A. M. V. *et al.* Equações volumétricas para *Carapa guianensis* Aubl. e *Swietenia macrophylla* King em sistema silvipastoril na Amazônia. **Nativa**, v. 5, n. 1, p. 73-77, 2017.
- FRANCEZ, L. M. B. *et al.* **Manual para análise de inventário florestal e equação de volume em projetos de manejo florestal sustentável -PMFS**. Belém: Edufra. 2017.

HERYATI, Y. *et al.* Growth performance and biomass accumulation of a *Khaya ivorensis* plantation in three soil series of ultisols. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 6, n. 1, p. 33-44, 2011.

HUSCH, B. *et al.* **Forest Mensuration**. 4 ed., p. 118-150. 2003.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estado do Maranhão. 2011. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-estaduais.html>. Acesso em: nov. 2023.

KLEIN, D.R. *et al.* Aspectos gerais e silviculturais de *Cordia americana*, *Aspidosperma polyneuron*, *Toona ciliata* e *Khaya* spp. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 155-164, 2016.

LEITE, R. D. *et al.* Análise comparativa entre dois procedimentos para estimativa da variável volume em um povoamento de *Eucalyptus urophylla*, no município de mineiros-Goiás. **Enciclopédia biosfera**, v. 7, n. 13, p. 1684-1700, 2011.

LOUPPE, D. *et al.* (Editors). Plant Resources of Tropical Africa 7 (1). Timbers 1. **PROTA Foundation**. 2008. 704p.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO, A. **Dendrometria**. 2 ed. Guarapuava: UNICENTRO, 2009, 316p.

MENEZES, R. H. N. **Caracterização agroclimática e análise do rendimento agrícola do Estado do Maranhão, Brasil**. 2009. 168 f. Tese (Doutorado em meteorologia). Campina Grande, UFCG. 2009.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. 6 ed. – São Paulo: Saraiva, 2010.

PINHEIRO, A. L. *et al.* **Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mognos-africanos (*Khaya* spp.)**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, 2011. 102p.

RAMOS, M. **Comparação de métodos para estimar o volume comercial em floresta ombrófila densa no estado do Amazonas**. 54f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Centro-Oeste. Irati-PR, 2012.

RIBEIRO, A. *et al.* Usos, importância econômica e perspectivas de mercado. In: REIS, C. A. F. *et al.* (Editores). **Mogno-africano (*Khaya* spp.)**: atualidades perspectivas do cultivo no Brasil. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 378p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M. *et al.* (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora** v. 2. Brasília: EMBRAPA-CERRADOS, 2008. 876p.

SANQUETTA, C. R. *et al.* **Inventários Florestais: planejamento e execução**. 3 ed. 2014. 409p.

SANQUETTA, C. R. *et al.* Estimativa da altura e do volume em povoamentos jovens de restauração florestal em Rondônia. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 2, n. 2, p. 23-31, 2017.

SILVA, A. J. *et al.* Ajuste de modelos hipsométricos e volumétricos para três clones de *Eucalyptus* em Mineiros - GO. **Nucleus**, v. 12, n. 2, p. 221-230, 2015.

SILVA, C. M. *et al.* Volume, funções probabilísticas e produtividades em plantio de *Calophyllum brasiliense* no município de Dueré (TO). **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 2, 2019.

STEPKA, T.F. *et al.* Modelos volumétricos e funções de afilamento para *Pinus taeda* L. na região dos Campos Gerais, Paraná, Brasil. **Revista Espacios**, v. 38, n. 21, p. 26-35, 2017.

THIERSCH, C. R. *et al.* Acurácia dos métodos para estimativa do volume comercial de clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v.12, n. 2, p. 49-50, 1997.

Submetido em: dezembro de 2023.

Aprovado em: janeiro de 2024.