

MODELAGEM VOLUMÉTRICA PARA ÁRVORES DO CERRADO EM RESERVA LEGAL NO MUNICÍPIO DE URUAÇU

VOLUMETRIC MODELING FOR CERRADO TREES IN A LEGAL RESERVE IN THE MUNICIPALITY OF URUAÇU

KEROLAYNE SOFIA BERNARDO CABRAL DO NASCIMENTO

Graduando em Agronomia, Instituto Federal Goiano, Campus Ceres (GO)
kerolaynesofia21@gmail.com

STHEFANNY RIBEIRO SILVA

Graduando em Agronomia, Instituto Federal Goiano, Campus Ceres (GO)
stheribeiro160101@gmail.com

RENATO SOUZA RODOVALHO

Doutor em Agronomia, Instituto Federal Goiano, Campus Ceres (GO)
renato.rodovalho@ifgoiano.edu.br

Resumo: Realizou-se o trabalho em área de preservação legal localizada ao redor do município de Uruaçu. Diante da importância de se conhecer a cubagem da madeira para área de preservação, objetivou-se neste trabalho avaliar equações volumétricas que represente a cubagem da madeira na área de preservação de plantas do Cerrado no município de Uruaçu. Assim, identificou-se e coletou-se os dados de 11 espécies de árvores do Cerrado, totalizando 92 árvores amostradas. Na determinação de unidades cúbicas mediu-se a altura do fuste e os diâmetros na altura de 0,05 m do solo e altura da primeira bifurcação do fuste. Foram ajustados 18 modelos volumétricos aos dados experimentais obtidos. O ajuste do melhor modelo que representa-se a cubagem da madeira foi selecionado utilizando o coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão da estimativa (S_{yx}), o erro médio absoluto (EM), o desvio global percentual (DG), a distribuição do comportamento dos resíduos e a significância dos parâmetros dos modelos ajustados a 5% de probabilidade pelo teste t. O cálculo de volume de madeira com casca, pela fórmula de Smalian, obteve volume total 0,89 m³ por hectare. a equação volumétrica que melhor adequou-se foi a de Humell, resultou maior R^2 sendo 0,93, e menores valores de $S_{xy}=0,19$; EM= 1,6x10⁻¹¹; DG%= 1,7x10⁻⁸ com exceção do erro médio absoluto em valor percentual (EMa (%)) = -3,55).

Palavras-chave: Espécies do Cerrado. Modelo volumétrico. Cubagem.

Abstract: The work was carried out in a legal preservation area located around the municipality of Uruaçu. Given the importance of knowing the size of wood for the preservation area, the objective of this work was to evaluate volumetric equations that represent the size of wood in the area of preservation. preservation of cerrado plants in the municipality of Uruaçu. Thus, data from 11 species of trees in the Cerrado were identified and collected, totaling 92 trees sampled. In determining cubic units, the height of the stem and the diameters were measured at a height of 0.05 m from the ground and the height of the first bifurcation of the stem. Eighteen volumetric models were fitted to the obtained experimental data. The fit of the best model representing the volume of wood was selected using the coefficient of determination (R^2), the standard error of the estimate (S_{yx}), the mean absolute error (EM), the global percentage deviation (DG), the distribution of the behavior of the residues and the significance of the parameters of the models adjusted to 5% of probability by the t-test. The calculation of the volume of wood with bark, using the Smalian formula, obtained a total volume of 0.89 m³ per hectare. the volumetric equation that best suited was Humell's, resulting in the highest R^2 being 0.93, and the lowest values of $S_{xy}=0.19$; MS= 1.6x10⁻¹¹; DG%= 1.7x10⁻⁸ with the exception of the mean absolute error (EMa (%)) = -3.55).

Keywords: Cerrado species. volumetric model. Cubing.

Introdução

Desde os primórdios da ciência florestal, há mais de 500 anos, a volumetria de árvores constituiu um tema relevante, dado a importância da madeira para a vida do homem, para a habitação, movelaria e a arte (PÉLLICO NETTO, 2004). O volume é a característica dendrométrica mais importante para a estimativa do potencial de uma floresta, contribuindo para a avaliação do estoque de madeira, o qual estabelece uma base consistente para o manejo florestal. O volume das árvores pode ser determinado por métodos diretos e indiretos (MOURA, 1994; BELCHIOR, 1996; THOMAS *et al.*, 2006; THIERSCH, 2007).

A Segundo Machado *et al.* (2002), o volume por meio da sua estimativa por modelos matemáticos, fornece subsídios para a avaliação do estoque de madeira e a análise do potencial produtivo das florestas. A vantagem das equações de volume é o cálculo de volume sólido, árvore a árvore, por meio de modelos estatísticos, especialmente testados para apresentar erros factíveis (THOMAS *et al.*, 2006; CAMPOS *et al.*, 2013).

De acordo com Overbeck *et al.* (2015), é muito interessante conhecer e acompanhar o desenvolvimento do bioma Cerrado, devido este bioma ser um grande provedor de potenciais serviços ecossistêmicos como fornecimento de água, armazenamento de carbono e conter uma grande diversidade biológica. Dessa forma, é de extrema importância o desenvolvimento de ferramentas que possibilitem informações consistentes e relevantes para o planejamento do manejo sustentável.

Muitas das espécies arbóreas do Cerrado têm potencial para serem utilizadas como fontes de energia, madeira sólida, produtos não madeireiros e até mesmo para recuperação de áreas degradadas. No entanto, modelar estoques potenciais ou seu crescimento ou declínio tem sido difícil devido à falta de equações conhecidas para determinar volumes de madeira para muitas espécies de árvores desse bioma. A riqueza de espécies arbóreas do Cerrado contrasta com a carência de informações sobre espécies arbóreas com potencial econômico, restringindo o seu aproveitamento (DURIGAN, 2003).

Conhecer o potencial volumétrico e a flora do bioma Cerrado é de extrema importância para a garantia de seu uso de forma sustentada, concomitantemente visando à conservação e à preservação do mesmo (RUFINI *et al.*, 2010).

De acordo com Wisch e Melo (2005), a conservação e recuperação de áreas de reserva legal e de preservação permanente nas propriedades rurais são primordiais para a gestão das propriedades e para a sustentabilidade. As áreas protegidas, principalmente as áreas de reserva legal, além de conservar a biodiversidade, podem fornecer produtos florestais madeireiros e não madeireiros, com destaque para os serviços ambientais como o sequestro de CO₂ (MINAS GERAIS, 2008; VILAR *et al.*, 2009).

As informações precisas sobre as características das espécies florestais nativas, como cubagem da madeira, são de extrema importância para a definição de políticas e estratégias públicas a serem aplicadas como instrumentos de controle e manejo de remanescentes florestais (SCOLFARO *et al.*, 2015). Sendo Assim, ferramentas dendrométricas como a modelagem devem ser conduzidas em ambientes distintos de vegetação do Cerrado, visando garantir informações consistentes para subsidiar a produção em inventários, determinar boas práticas de manejo, e garantir decisões corretas e estratégicas em planos florestais (SANTOS *et al.*, 2021).

Diante da importância de se conhecer a cubagem da madeira para área de preservação, objetivou-se neste trabalho avaliar equações volumétricas que represente a cubagem da madeira na área de preservação de plantas do Cerrado no município de Uruaçu.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em uma área de preservação legal da Fazenda Titára localizada no município de Uruaçu / GO, conforme figura 1. O local possui 2,85 hectares, localizada à 14° 33' 10.397'' S, 49° 10' 47.218'' W. O clima é tropical com o período chuvoso nos meses de novembro a março, a temperatura média anual está entre 23 °C a 26 °C.

Os dados foram coletados de todas as espécies escolhidas dentro da área utilizando fita métrica flexível e uma trena. Cada árvore foi identificada, enumerada e demarcada com o uso de um receptor GPS por meio do aplicativo “*mobile topographer*”, totalizando 11 espécies e 92 árvores amostradas. As variáveis dendrométricas consideradas foram DAP (Diâmetro à altura do peito a 1,30 m do solo) Db (Diâmetro da base à 5 cm do solo) e Dsup (Diâmetro à altura da primeira bifurcação) e h (altura entre diâmetro da base e diâmetro à altura da primeira bifurcação). Na obtenção do valor volume real de madeira com casca (V) fez-se o

uso do método de Smalian (LOETSCH *et al.*, 1973), convertendo os valores obtidos de diâmetro em áreas, o comprimento ou altura (h) do fuste e galhos, por intermédio da equação 01.



Figura 1. Fazenda Titára, local em que foram coletados os dados experimentais. Fonte: Arquivo pessoal, 2022.

$$v = \left(\frac{A1+A2}{2} \right) h \quad (01)$$

Em que: v = Volume real; $A1$ = Área seccionada 1; $A2$ = Área seccionada 2; h = Altura.

Os modelos volumétricos ajustados aos dados experimentais de volume estão representados na tabela 1. As equações volumétricas ajustadas foram obtidas de Loetsch *et al.* (1973), Scolforo e Silva (1993) e Rezende *et al.* (2006). Os demais coeficientes (βx) foram determinados por análise de regressão linear e não linear a 5% de probabilidade pelo teste t , utilizando o programa Statistica 5.0.

Os critérios estatísticos para a seleção do modelo que representou adequadamente o volume de madeira das espécies do Cerrado foram a magnitude do (R^2) coeficiente de determinação ajustado obtido por regressão, (Syx) o menor valor do erro padrão da estimativa, (EM) o erro médio absoluto, (EMa) Erro médio absoluto em valor percentual, (DG) o desvio global percentual, a distribuição do comportamento dos resíduos e a significância dos parâmetros dos modelos ajustados a 5% de probabilidade pelo teste t .

O erro padrão da estimativa (Syx) foi estimado pela equação 20.

Tabela 1. Modelos volumétricos de madeira ajustados aos dados experimentais obtidos para espécies do cerrado.

Equação	Modelo	Autor
2	$\log v = \beta_0 + \beta_1 \log(d^2 h)$	Spurr (log)
3	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$	Dissescu-Meyer
4	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2$	Kopecky-Gehrhardt
5	$v = \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 dh^2 + \beta_4 h^2$	Näslund
6	$V = \beta_1 + Db^2 + \beta_2 . D_b^2 . h$	Rezende
7	$v = \frac{d^2 h}{\beta_0 + \beta_1 d}$	Takata
8	$v = \beta_0 d h^2$	Schumacher-Hall
9	$v = d^2 (\beta_0 + \beta_1 h)$	Ogaya
10	$v = \beta_0 d^{\beta_1}$	Berkhout
11	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$	Hohenadl-Krenn
12	$\log v = \beta_0 + \beta_1 \log d$	Husch
13	$\log v = \beta_0 + \beta_1 \log d + \beta_2 \frac{1}{d}$	Brenac
14	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h$	Spurr
15	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 h$	Stoate
16	$v = \frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{h}}$	Honner
17	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 dh + \beta_4 d^2 h + \beta_5 h$	Meyer
18	$v = \beta_0 + \beta_2 g$	Humell
19	$V = \beta_0 + \beta_1 d^2 h^{\beta_2}$	Socolforo e Silva

Legenda: v = volume real (m³), d = DAP(cm), h = altura (m), Log = Logaritmo decimal, β_0 à β_4 = coeficientes da equação. Fonte: Autores, 2022.

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{res}} \quad (20)$$

Em que: QM_{res} corresponde ao quadrado Médio do resíduo obtido na análise de variância.

A determinação de EM, EMa e DG foram obtidas pelas equações 21, 22 e 23. (PRODAN *et al.*, 1997).

Erro médio absoluto (EM):

$$EM = \frac{1}{n} = \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v}) \quad (21)$$

Erro médio absoluto (EMa) em valor percentual (%)

$$EMa = \frac{1}{n} = \sum_{i=1}^n \left[100 \left(\frac{v_i - \bar{v}}{\bar{v}} \right) \right] \quad (22)$$

Desvio global percentual (DG)

$$DG\% = \frac{\sum_{i=1}^n v_i - \sum_{i=1}^n \bar{v}_i'}{\sum_{i=1}^n v_i'} \cdot 100 \quad (23)$$

Em que: V_i = volume individual de cada árvore na amostra; $\overline{v_i}$ = volume médio estimado da árvore na parcela e n = número de árvores.

Os modelos matemáticos correspondentes às equações volumétricas foram selecionados e organizado. O melhor modelo corresponderá consequentemente àquele que apresentar os menores valores do coeficiente de determinação ajustado e do erro padrão estimado. A análise do comportamento dos resíduos gerado pelo modelo foi considerada aleatória quando os valores residuais se encontram em uma zona horizontal próximo de zero (CORRÊA *et al.*, 2014). O software estatístico utilizado para as análises dos dados foi o Statistica 5.0.

Resultados e discussão

Foram coletadas unidades dendrométricas de 11 espécies sendo a Aroeira (*Schinus terebinthifolia*) com 16 indivíduos, o Angico (*Anadenanthera falcata*) com 3 unidades, o Barueiro (*Dipteryx alata*) com 5 indivíduos, o Pequiizeiro (*Caryocar brasiliense*) com 31 árvores, a pata de vaca (*Bauhinia forficata*) com apenas 2 indivíduos, nó-de-porco (*Physocalymma scaberrimum Pohl*) com 4 indivíduos, pimenta de macaco (*Xylopia aromática*) com 23 indivíduos, Gomeira (*Vochysia Thyrsoides*) com 4 indivíduos, Ipê amarelo (*Handroanthus albus*) com 2 indivíduos, Jatobá (*Hymenaea courbaril*) com 1 indivíduo, *hirtella glandulosa* com 1 indivíduo totalizando 92 árvores na área em estudo conforme apresentado na figura 2, distribuídas ao longo da área de preservação.

A média do volume de cada espécie está representada na tabela 2, sendo a somatória das médias de volume das espécies foi de 0,895 m³/ha. As espécies que apresentaram maior volume de madeira em ordem decrescente foram *Caryocar brasiliense* com 0,149m³/ha (correspondendo a 33,69 % da população), *Hymenaea courbaril* com 0,147 m³/ha (correspondendo a 1,13% da população), *Dipteryx alata* com 0,135 m³/ha (correspondendo a 5,43% da população), *Vochysia Thyrsoides* com 0,107 m³/ha (correspondendo a 4,34% da população), *Handroanthus albus* com 0,080 m³/ha (correspondendo a 2,17% da população), *Anadenanthera falcata* com 0,077 m³/ha (correspondendo a 3,26% da população), *Schinus terebinthifolia* com 0,065 m³/ha (correspondendo a 17,39% da população), *Xylopia aromática* com 0,052 m³/ha (correspondendo a 25% da população), *Physocalymma scaberrimum Pohl*

com 0,037 m³/ha (correspondendo a 4,34% da população), *Bauhinia forficata* com 0,034 m³/ha (correspondendo a 2,17% da população) e por fim *Hirtella glandulosa* com 0,014 m³/ha (correspondendo a 1,13% da população).

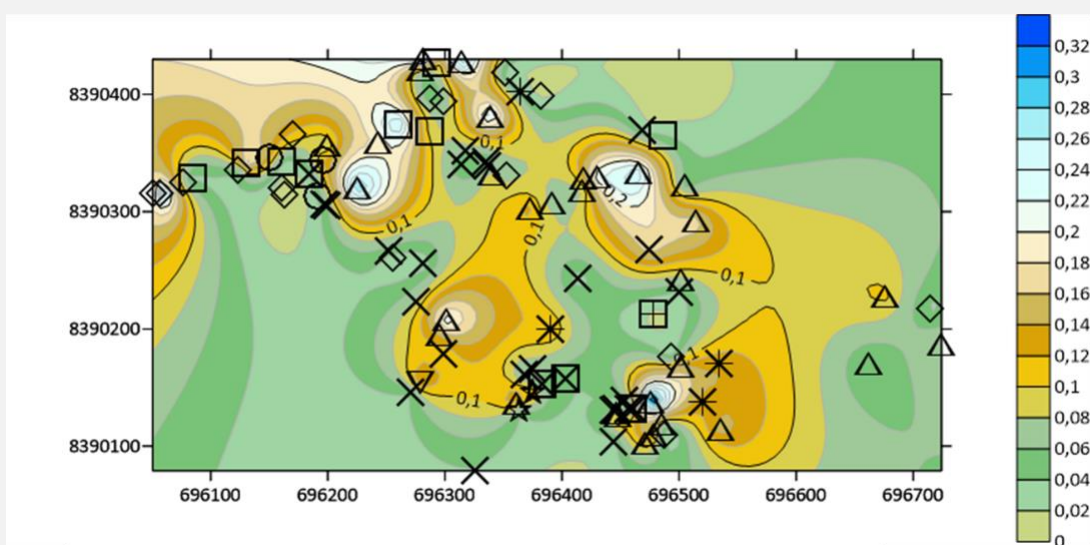


Figura 2. Distribuição espacial das amostras de volume de madeira (m³/ ha) de árvores do Cerrado no município de Uruaçu. Legenda: ◇Aroeira; □ Pata de vaca; ○ Baru; △ Pequi; × Pimenta de macaco; ☆ Ipê amarelo; ▤ Jatobá; ☒ Nó de porco; + Angico; ▽ *Hirtella glandulosa*; * Gomeira. Fonte: Arquivo pessoal, 2022.

Todos os coeficientes analisados para os modelos de Spurr (Log), Kopecky-Gehrhardt, Rezende, Schumacher-Hall, Berkhout, Husch, Brenac, Spurr, Honner, Meyer e Humell foram significativos a 5% de probabilidade no teste t, conforme apresentado na Tabela 3. Sendo, portanto, estes modelos mais indicados para a representação da madeira (IMAÑA-ENCINAS *et al.*, 2009). Segundo Bonazza *et al.* (2019), o modelo de Schumacher e Hall tiveram os menores erros padrões da estimativa relativos e melhor desempenho na análise gráfica de resíduos, mostrando-se mais precisos que os demais estudado para estimativas volumétricas em *Pinus patula* com 9 anos de idade.

De acordo com o trabalho de Rolim *et al.* (2006), foi analisado diferentes modelos para a estimativa do volume de uma floresta natural localizada na Serra dos Carajás, Pará, em que se conclui que o modelo de Husch se ajustou com maior precisão aos dados. Baima *et al.* (2001), determinou que o modelo de Husch obteve os melhores parâmetros estatísticos para o volume da madeira de uma floresta tropical localizada no município de Moju / PA.

Tabela 2. Espécies arbóreas e correspondente volume de madeira em m³ em um hectare de cerrado.

Espécie	Família	Número de indiv.	Média vol(m ³ /ha)
<i>Schinus terebinthifolia</i>	<i>Anacardiaceae</i>	16	0,065
<i>Bauhinia forficata</i>	<i>Fabaceae</i>	2	0,034
<i>Dipteryx alata</i>	<i>Fabaceae</i>	5	0,135
<i>Anadenanthera falcata</i>	<i>Fabaceae</i>	3	0,077
<i>Caryocar brasiliense</i>	<i>Caryocaraceae</i>	31	0,149
<i>Physocalymma scaberrimum Pohl</i>	<i>Lythraceae</i>	4	0,037
<i>Xylopia aromatica</i>	<i>Annonaceae</i>	23	0,052
<i>Vochysia Thyrsoides</i>	<i>Vochysiaceae</i>	4	0,107
<i>Handroanthus albus</i>	<i>Bignoniaceae</i>	2	0,080
<i>Hymenaea courbaril</i>	<i>Fabaceae</i>	1	0,147
<i>hirtella glandulosa</i>	<i>Chrysobalanaceae</i>	1	0,014
Total		92	0,895

Fonte: Arquivo pessoal, 2022.

Dentre os coeficientes determinados como significativos a 5% de probabilidade pelo teste t determinados na tabela 3, apenas os modelos de Rezende, Spurr e Humell demonstraram valores superiores de coeficiente de determinação e menores valores do erro padrão de estimativa de acordo com a tabela 4.

Na tabela 4 é possível observar os valores dos critérios de R², Syx, EM, EMa(%) e DG% para seleção do modelo que represente a cubagem da madeira a partir da amostragem obtida. Os modelos de Rezende, Spurr e Humell apresentaram os maiores valores para R² sendo respectivamente 0,96, 0,92, 0,93. Imaña-Encinas *et al.* (2009), estimou volume de árvores do bioma Cerrado, o melhor modelo volumétrico para a área de estudo foi o de Rezende, que obteve maior R² ajustado com o valor de 0,99 e o menor Syx com o valor de 0,10.

Tabela 3. Resultados da análise de regressão do ajuste das equações passo a passo.

Equações	COEFICIENTES					
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
(2) - Spurr (log)	-3,30540*	0,34506*				
(3) -Dissescu-Meyer	-0,009432 ^{ns}	-0,009432 ^{ns}	-0,009432*			
(4) -Kopezky-Gehrhardt	0,016805*	0,016805*				
(5) -Näslund	0,000162*	0,000162 ^{ns}	0,000162 ^{ns}	0,000162 ^{ns}	0,000162 ^{ns}	
(6) -Rezende	0,000085*	0,000085*				
(7) -Takata	7449,482*	7449,482 ^{ns}				
(8) -Schumacher-Hall	0,000455*					
(9) -Ogaya	0,000109*	0,000109 ^{ns}				
(10) - Berkhout	0,000490*	0,000490*				
(11) -Hohenadl-Krenn	-0,009432 ^{ns}	-0,009432 ^{ns}	-0,009432*			
(12) -Husch	-3,30978*	-3,30978*				
(13) -Brenac	-12,5788*	-12,5788*	-12,5788*			
(14) -Spurr	0,006217*	0,006217*				
(15) - Stoate	0,016710 ^{ns}	0,016710*	0,016710 ^{ns}	0,016710 ^{ns}		
(16) -Honner	7689,771*	0,016*				
(17) -Meyer	-15,8517*	0,0010*	0,0001*	0,0008*	0,0000*	-0,0046*
(18) -Humell	-0,086956*	-0,086956*				
(19) - Socolforo e Silva	-24472,4 ^{ns}	-24472,4 ^{ns}	-2,3*			

Legenda: *Significativos a 5% de probabilidade pelo teste t. ^{ns} não significativos a 5% de probabilidade pelo teste t. Fonte: Arquivo pessoal, 2022.

Tabela 4. Parâmetros estatísticos para seleção do modelo.

Equações	PARÂMETROS				
	R^2	Syx	EM	EMa(%)	DG%
Spurr (log)	0,76	1,13	0,00031	-0,28	0,30
Dissescu-Meyer	0,81	0,33	1,3x10 ⁻¹⁰	0,15	1,2x10 ⁻⁷
Kopezky Gehrhardt	0,80	0,33	-9,7x10 ⁻¹²	-3,07	-9,7x10 ⁻⁹
Näslund	0,80	0,33	0,0015	2,21	1,54
Rezende	0,96	0,13	0,00098	0,99	0,98
Takata	0,74	0,38	0,0062	15,99	6,58
Schumacher-Hall	0,81	0,33	0,00014	-0,65	0,13
Ogaya	0,79	0,34	0,0075	19,22	8,11
Berkhout	0,81	0,33	5,5x10 ⁻⁶	-1,02	0,0054
Hohenadl-Krenn	0,81	0,33	1,3x10 ⁻¹⁰	0,15	1,3x10 ⁻⁷
Husch	0,81	0,33	5,5x10 ⁻⁶	-1,02	0,0054
Brenac	0,51	0,52	-0,0019	1,15	-1,90
Spurr	0,92	0,21	4,22x10 ⁻¹¹	-2,21	4,2x10 ⁻⁸
Stoate	0,81	0,33	-3,38x10 ⁻¹⁰	-2,81	-3,3x10 ⁻⁷
Honner	0,80	0,34	0,0017	1,02	1,80
Meyer	0,81	0,33	-2,96x10 ⁻⁰⁵	-1,07	-0,029
Humell	0,93	0,19	1,6x10 ⁻¹¹	-3,55	1,7x10 ⁻⁸
Socolforo e Silva	0	4578,55	7,5x10 ⁻⁵	-91,99	0,078

Legenda. R^2 coeficiente de determinação; Syx: erro padrão de estimativa; EM erro médio absoluto; EMa (%) erro médio absoluto; DG% desvio global percentual. Fonte: Arquivo pessoal, 2022.

Em relação aos valores de Syx apresentados na tabela 4, os modelos de Rezende, Spurr e Humell obtiveram os menores valores respectivamente, sendo 0,13; 0,21 e 0,19. Segundo Couto *et al.* (1987), ao ajustarem diferentes modelos em plantios de eucalipto na região de Suzano / SP, para a obtenção de volume com e sem casca para celulose, verificaram que o melhor modelo de ajuste foi o de Spurr. No estudo realizado por Fontoura *et al.* (2017), demonstra-se que o modelo de Spurr, é o mais apropriado para a área de estudo, com base nos indicadores estatísticos R^2 (0,846) e Syx (31,42).

Em relação aos critérios de EM, EMA e DG% observa-se que o modelo de Humell obteve os resultados mais próximos a zero sendo $1,6 \times 10^{-11}$; -3,55; $1,7 \times 10^{-8}$, respectivamente. De acordo com Campos e Leite (2013) estes critérios estatísticos com resultados mais próximos a zero são considerados relevantes para a seleção dos modelos para mensuração florestal.

Conforme os resultados da tabela 4 verificou-se que o modelo de Humell foi o mais adequado para estimar o volume de madeira dos dados obtidos das espécies do Cerrado na área de preservação da fazenda Titára, por apresentar os seguintes critérios estatísticos R^2 0,93, $S_{xy}=0,19$; $EM= 1,6 \times 10^{-11}$; $EMA= -3,55$, $DG\%= 1,7 \times 10^{-8}$. No estudo de Imaña-Encinas *et al.* (2009), indica-se que o modelo de Humell é comum para representatividade da cubagem da madeira, embora seu ajuste não foi significativo no ajuste dos coeficiente para representar os dados experimentados em área de preservação na região de Planaltina, no Estado de Goiás.

A figura 3 apresenta o comportamento da distribuição de resíduos dos modelos de Brenac (A) e Humell (B) ajustados aos dados experimentais obtidos. Observa-se que os pontos da figura 3B estão distribuídos ao longo do eixo horizontal de forma aleatória, sem formação de figuras tendenciosas. Já em relação a figura 3A pode-se observar a distribuição dos dados experimentais mais distantes do eixo central indicando uma condição tendenciosa. Segundo Schneider (1997), a análise gráfica da distribuição dos resíduos possibilita a verificação do ajuste da equação, ao longo de toda a amplitude dos dados observados, permitindo assim, detectar possíveis tendências de ajuste para a tomada de decisão, quanto à utilização ou não do modelo/equação.

Segundo Draper e Smith (1981), o comportamento aleatório da distribuição de resíduos é um parâmetro subjetivo que permite confirmar a representação dos ajustes do

modelo assim como foi utilizado com os demais critérios estatísticos. Com base na análise dos critérios estatísticos verifica-se que o Modelo de Humell apresenta-se o mais recomendado por apresenta maior distribuição aleatória ao longo dos eixos representada da figura 3B.

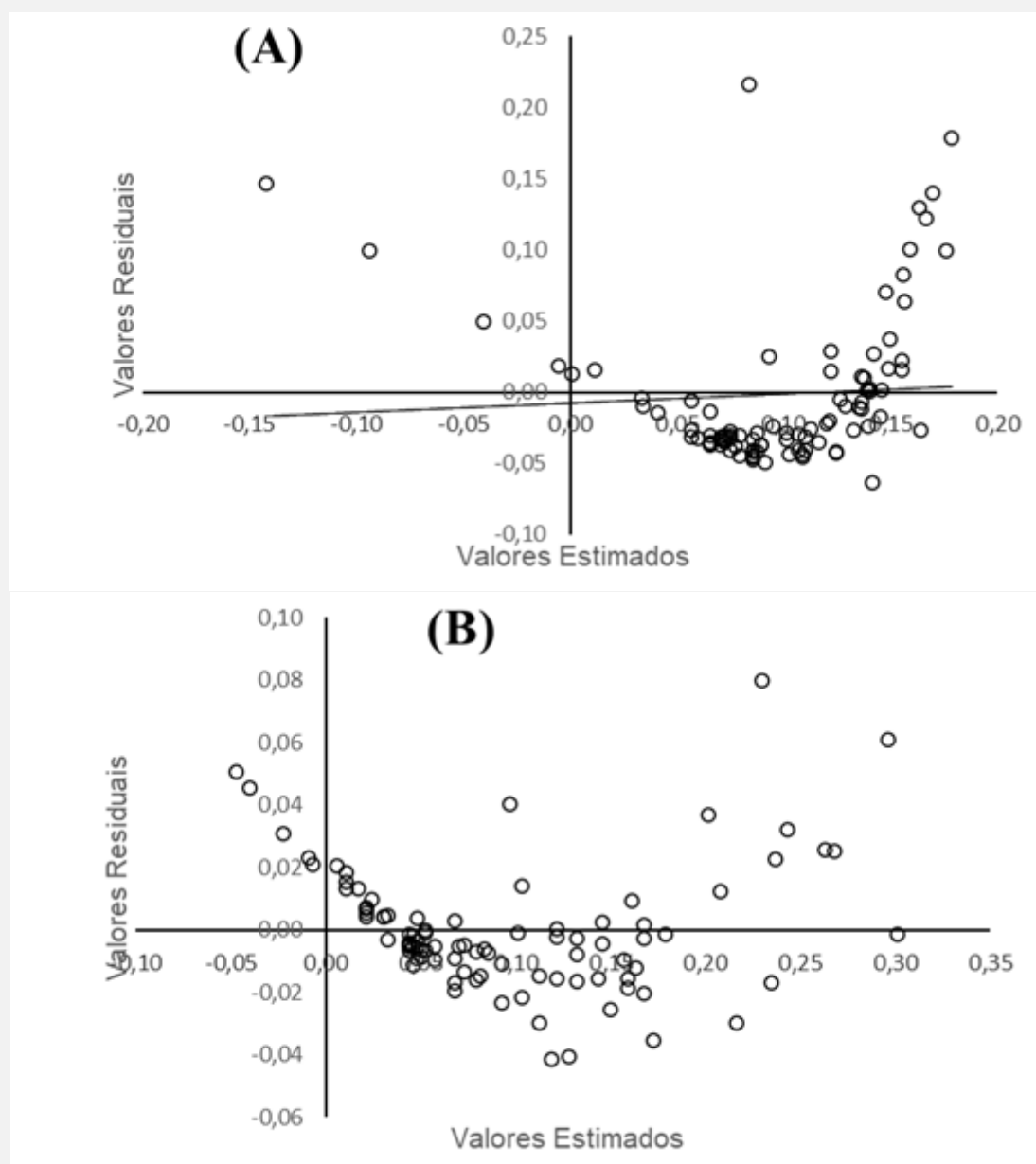


Figura 3. (A) Valores residuais e valores estimados da equação de Brenac; (B) Valores residuais e valores estimados da equação Humell. Fonte: Arquivo pessoal, 2022.

Conclusão

O modelo de Humell foi o mais indicado com base em critérios estatísticos como R^2 0,93, $S_{xy}=0,19$; $EM= 1,6 \times 10^{-11}$; $EMa= -3,55$, $DG\%= 1,7 \times 10^{-8}$ para representar a cubagem da madeira para as espécies de Aroeira (*Schinus terebinthifolia*), o Angico (*Anadenanthera falcata*), o Barueiro (*Dipteryx alata*), o Pequizeiro (*Caryocar brasiliense*), a pata de vaca (*Bauhinia forficata*), nó-de-porco (*Physocalymma scaberrimum Pohl*), pimenta de macaco (*Xylopia aromática*), Gomeira (*Vochysia Thyrsoidea*), Ipê amarelo (*Handroanthus albus*), Jatobá (*Hymenaea courbaril*), *hirtella glandulos* da área de reserva legal localizada na Fazenda Titára no município de Uruaçu / GO.

Referências

- BAIMA, A.V.; SILVA, S.M.S.; SILVA, J.N.M. Equações de volume para floresta tropical de terra firme em Moju, PA. In: SILVA, J.N.M.; CARVALHO, J.O.P.; YARED, J.A.G. (eds). **A Silvicultura na Amazônia Oriental**: contribuições do projeto silvicultura tropical (Embrapa/DFID). n. 2. Embrapa Amazônia Oriental, Belém. p. 367-392, 2001.
- BELCHIOR, P. R. M. **Estimação de volumes total, de fuste e de galhos em mata secundária no Município de Rio Vermelho, MG**. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- BONAZZA, Marcelo; CRUZ, Girlene da Silva; NOVACK JUNIOR, Nilton Sergio; SAMPIETRO, Jean Alberto; SILVA, Pedro Henrique Belavenutti Martins da; CYSNEIROS, Vinicius Costa. Métodos para estimativas volumétricas de *Pinus patula*. **Advances In Forestry Science**, Cuiabá, v. 06, n. 02, p. 673-679, 10 out. 2022.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Mensuração florestal: perguntas e respostas. 4.ed., Viçosa: **Editora UFV**, p. 605, 2013.
- CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; BOTELHO, S. D. C. C.; GONELI, A. L. D. Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canephora*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [s. l.] 18 (10):1047-1052. 2014
- COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M.. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. **IPEF**, n.37, p.33-34, 1987.

DRAPER, N.; SMITH, H. Applied regression analysis. **New York: JohnWiley e Sons.** 709 p. 1981

DURIGAN, G. Bases e diretrizes para restauração da vegetação de Cerrado. In: KAGEYAMA, D. Y. *et al.* (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais.** **Botucatu:** Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, p. 185-204, 2003.

FONTOURA, M. R.; CARON, B. O; ELOY, E.; TREVISAN, R.; TRAUTENMÜLLER, O. W; BEHLING, A. Modelos alométricos para estimativa de biomassa em área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana baill.* **Floresta**, Curitiba, Pr, v. 47, n. 04, p. 469-478, 27 out. 2017.

IMANHA-ENCINAS, J.; SANTANA, O.A.; PAULA, J.E. de; IMANHA, C.R.; Equações de volume de madeira para o cerrado de Planaltina de Goiás. **Floresta**, Curitiba, PR, v.39, n.1, p.107-116, 2009.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory.** **Munich: BLV**, 1973. v.2. 469p.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Ciências Exatas e Naturais**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 185- 196, 2002.

MINAS GERAIS. **Lei nº 17.227**, de 13 de agosto de 2008. Dispõe sobre a concessão de incentivo financeiro a proprietários e posseiros rurais, sob a denominação de Bolsa Verde, para os fins que especifica, e altera as Leis nos 13.199, de 29 de janeiro de 1999, que dispõe sobre Política Estadual de Recursos Hídricos, e 14.309, de 19 de junho de 2002, que dispõe sobre as políticas florestais e de proteção da biodiversidade no Estado. Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/bolsaverde/lei%2017.727%20-%2013.08.2008.pdf>. Acesso em: 22 Out. 2022.

MOURA, J. B. **Estudo da forma do fuste e comparação de métodos de estimativa volumétrica de espécies florestais da Amazônia Brasileira.** 114f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

OVERBECK, G. E.; VÉLEZ-MARTIN, E.; SCARANO, F. R.; LEWINSOHN, T. M.; FONSECA, C. R.; MEYER, S. T.; MULLER, S. C.; CEOTTO, P.; DADALT, L.; DURIGAN, G.; GANADE, G.; GOSSNER, M. M.; GUADAGNIN, D. L.; LORENZEN, K.; JACOBI, C. M.; WEISSER, W. W.; PILLAR, V. D. **Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems.** *Diversity and Distributions*, 21, 1455-1460, 2015.

PÉLLICO NETTO, S. **Equivalência volumétrica:** uma nova metodologia para estimativa do volume de árvores. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v. 2, n.1, p. 17-30, jan./mar. 2004.

PRODAN, M., PETERS, R., COX, F., REAL, P. **Mensura Florestal. San José – Costa Rica: GTZ - IICA.** 1997. 586p.

ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. Z.; JESUS, R. M.; FRANÇA, J. T. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazônica**, Amazônia, v. 36, p.107-114, 2006.

RUFINI, A. L. et. al. Equações volumétricas para o cerrado sensu stricto, em Minas Gerais. **Cerne**. v. 16, n. 1, p. 1-11, 2010. Disponível em: [https:// doi.org/10.1590/S0104-77602010000100001](https://doi.org/10.1590/S0104-77602010000100001). Acesso em: 11 out. 2022.

RUFINI, A. L. et. al. Equações volumétricas para o cerrado sensu stricto, em Minas Gerais. **Cerne**. v. 16, n. 1, p. 1-11, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602010000100001>.

SANTOS, Andreia Taborda dos. Equação de volume para espécies de Cerrado em Formosa, GO. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Curitiba, 30 set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4336/2021.pfb.41e201902075>. Acesso em: 11 jul. 2022.

SCHNEIDER, P. R.. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal.** Santa Maria: UFSM, 1997.

SCHRODER, T.; COSTA, E. A.; VALERIO, A. F.; LISBOA, G. S. (2015) Taper Equations for *Pinus elliottii* Engelm. in Southern Paraná, Brazil. **Forest Science**, v. 61, p. 311-319.

THIERSCH, C. R. Uma nova proposta metodológica para cubagem rigorosa e ajuste de modelos hipsométricos. 90f. **Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)** - Universidade Federal de Lavras, 2007.

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**, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.

VILAR, M. B.; JACOVINE, L. A. G.; SOUZA, A. L. Pagamento por serviços ambientais: alternativa para a efetivação da proteção ambiental em propriedades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 30, n. 252, p. 16- 23, 2009.

WISCH, E. N.; MELO, A. C. G. Análise do crescimento de cinco espécies nativas do Cerrado no oeste do Estado de São Paulo. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, Garça**, v. 5, p. 1-8, 2005.