

Estimativa do Volume de Madeira de Eucalipto em Sistema Agrossilvipastoril



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
354**

**Estimativa do Volume de Madeira de
Eucalipto em Sistema Agrossilvipastoril**

*Sebastião Pires de Moraes Neto
Karina Pulrolnik
Lourival Vilela
Kleberson Worsley de Souza
Roberto Guimarães Júnior*

***Embrapa Cerrados
Planaltina, DF
2020***

Esta publicação encontra-se disponível gratuitamente no link: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/?initQuery=t> (Digite o título e clique em "Pesquisar")

Embrapa Cerrados
BR 020, Km 18, Rod. Brasília / Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970, Planaltina, DF
Fone: (61) 3388-9898
Fax: (61) 3388-9879
embrapa.br/cerrados
embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da Unidade

Presidente
Marcelo Ayres Carvalho

Secretária-Executiva
Marina de Fátima Vilela

Secretária
Alessandra S. Gelape Faleiro

Supervisão editorial
Jussara Flores de Oliveira Arbues

Revisão de texto
Jussara Flores de Oliveira Arbues

Normalização bibliográfica
Shirley da Luz Soares Araújo

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Wellington Cavalcanti

Foto da capa
Sebastião Pires de Moraes Neto

1ª edição

1ª impressão (2020): tiragem 30 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Cerrados

E816 Estimativa do volume de madeira de eucalipto em sistema agrossilvipastoril / Sebastião Pires de Moraes Neto... [et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2020.

22 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X, ISSN online 2176-509X; 354).

1. *Eucalyptus urophylla*. 2. *Eucalyptus grandis*. 3. Madeira. 4. Agrossilvicultura. I. Moraes Neto, Sebastião Pires. II. Embrapa Cerrados. III. Série.

634.973 CDD-21

Sumário

Introdução.....	7
Material e Métodos	8
Resultados e Discussão	14
Conclusões.....	20
Referências	20

Estimativa do Volume de Madeira de Eucalipto em Sistema Agrossilvipastoril

Sebastião Pires de Moraes Neto¹; Karina Pulrolnik²; Lourival Vilela³; Kleber Worsley de Souza⁴; Roberto Guimarães Júnior⁵

Resumo – Para quantificar o estoque de madeira produzido em uma área definida, o volume de madeira é um dos parâmetros mais utilizados. Para determinar o volume de madeira, árvores de diferentes classes diamétricas são cubadas após sua derrubada. Por meio da determinação do volume real, equações e fatores de forma foram ajustados para estimativa de volume do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (“*Eucalyptus urograndis*”) plantados em talhões de um experimento para avaliação de diferentes módulos de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) após 9,5 anos. O objetivo foi comparar equações de volume, modelo de Meyer e Kopecky-Gehardt, bem como, fatores de forma, médio e por classe diamétrica, verificando quais apresentaram melhor acurácia na estimativa de volume em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). O modelo de Meyer foi o que apresentou melhor acurácia, contudo, o fator de forma por classe diamétrica também apresentou bom ajuste.

Termos para indexação: *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, estoque de madeira, agrossilvicultura, Integração lavoura-pecuária-floresta.

¹ Engenheiro Florestal, doutor em Ciências Biológicas, Pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

² Engenheira Florestal, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisadora da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

³ Engenheiro-agrônomo, mestre em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

⁴ Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

⁵ Médico-veterinário, doutor em Ciência Animal, Pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Estimation of Eucalyptus Wood Volume in Agrosilvopastoral System

Abstract – To quantify the wood stock produced in a defined area, wood volume is one of the most commonly used parameters. To determine the volume of wood, trees of different diameter classes are cubed after felling. By determining the actual volume, equations and form factors were adjusted to estimate the volume of the *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* hybrid (“*Eucalyptus urograndis*”) planted in plots of an experiment to evaluate different crop-livestock-forest integration modules (ILPF) after 9.5 years. The objective was to compare volume equations, Meyer and Kopezky-Gehhardt model, as well as form factors, mean and diametric class, verifying which (s) presented better accuracy in the estimation of volume in crop-livestock forest integration system. The Meyer model presented the best accuracy, however, the form factor by diameter class also presented good fit.

Index terms: *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, wood stock, agroforestry, Crop-livestock-forest integration.

Introdução

O resultado da combinação entre o *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus urophylla* ("*Eucalyptus urograndis*") é um dos híbridos mais conhecidos e usados no Brasil (Arruda et al., 2013). O híbrido reúne as melhores características do *Eucalyptus grandis*, como crescimento e qualidade da madeira, e do *Eucalyptus urophylla*, com adaptação e resistência a doenças (Conselho de Informações sobre Biotecnologia, 2008). Esse híbrido tem sido bastante utilizado em sistemas de integração-lavoura-pecuária-floresta (ILPF) na região do cerrado e pode ser empregado para diversos usos como fabricação de papel e celulose, lenha, carvão vegetal, serraria em geral, construção civil, móveis, pontaletes, laminação e postes (Carvalho; Nahuz, 2001, 2004; Almeida 2002).

Para quantificar o estoque de madeira produzido em uma área definida, o volume de madeira é um dos parâmetros mais utilizados. O volume da madeira é de suma importância no controle de estoque, no controle do crescimento, no planejamento da produção, na elaboração de plano de manejo, na comercialização e no transporte de produtos florestais (Barros et al., 2008). Portanto, conhecer o volume de madeira de uma floresta é de extrema relevância para fundamentar os processos de gestão de empreendimentos florestais. Entre os métodos empregados para a estimativa da produção volumétrica de um povoamento florestal, estão os modelos volumétricos, os fatores de forma, os quocientes de forma, os fatores de empilhamento, os fatores de cubicação, redes neurais e geoestatística, e a utilização de um ou outro método depende da facilidade de obtenção dos dados e da precisão requerida (Nunes; Soares, 2017; Tenzin et al., 2017; Arruda, 2018).

O uso da análise de regressão é um dos métodos de quantificação do volume de madeira de árvores em pé, sendo comumente utilizada como instrumento para quantificar ou estimar medidas de interesse em um povoamento florestal (Baima et al., 2001). Dessa forma, a análise de regressão pode ser utilizada com intuito de estabelecer uma base sólida para elaboração de planos de manejo, por meio de equações de volume devidamente ajustadas às características do povoamento objeto de manejo (Thaines et al., 2010).

A utilização do fator de forma é o método mais simples e de fácil aplicação para determinação do volume de árvores individuais (Machado et al., 2003), especialmente para produtores que não possuem assessoria especializada ou acesso e conhecimento na aplicação de programas computacionais es-

tatísticos. O fator de forma é uma razão matemática entre o volume de um cilindro com o diâmetro igual ao DAP da árvore e o volume real da árvore, mensurado por meio de cubagem rigorosa. A forma do caule é um importante componente para estimação de volume, visto que as árvores diferem em forma devido a diferentes práticas de manejo florestal, fatores climáticos e genéticos, espécies, idade e diâmetro a altura do peito (DAP) ou por composição de espécies e tamanho (Larson, 1963; Pollanschütz, 1965; Avery; Burkhart, 2002; Socha; Kulei, 2005, 2007; Ikonen et al., 2006; Adkunle, 2013; Colgan et al., 2014 apud Tenzin et al., 2017). Alguns dos principais fatores que afeta a forma do caule são o espaçamento entre árvores e a fertilização utilizada nos talhões. No primeiro, existe tendência de menor conicidade em talhões de árvores mais adensadas. Opostamente, quanto menos adensado o talhão de árvores, a conicidade é maior, como no caso de árvores na maioria dos sistemas de integração-lavoura-pecuária-floresta (ILPF), o que origina menor fator de forma. O aporte de fertilizantes normalmente proporciona um maior crescimento, especialmente em espécies do gênero eucalipto, que, em sua maioria, apresenta uma alta taxa de incremento volumétrico anual. Ressalta-se que, nos sistemas integrados, pode haver maior crescimento das árvores, pois existe a possibilidade de adubação suplementar, em razão da presença residual de nutrientes advindos da aplicação de adubos nas culturas intercalares.

O objetivo deste estudo foi estimar o volume de madeira do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em sistema ILPF instalado no Cerrado do Distrito Federal, bem como, comparar a acurácia de 4 modelos de regressão e de fatores de forma quando utilizados para as estimativas de volume.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido na Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF (15°36'S e 47°42'W; 980 m de altitude) em experimento de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) implantado entre os meses de janeiro e fevereiro de 2009. A área era anteriormente ocupada com pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu; *B. brizantha* consorciada com *Stylosanthes guianensis* e com *B. brizantha* consorciada com leucena. O clima da região é Aw (classificação de Köppen); as precipitações mensais e temperaturas médias mensais mínimas e máximas estão apresentadas na Figura 1, durante a fase

experimental. O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho, com textura argilosa. As características químicas do solo estão apresentadas na Tabela 1.

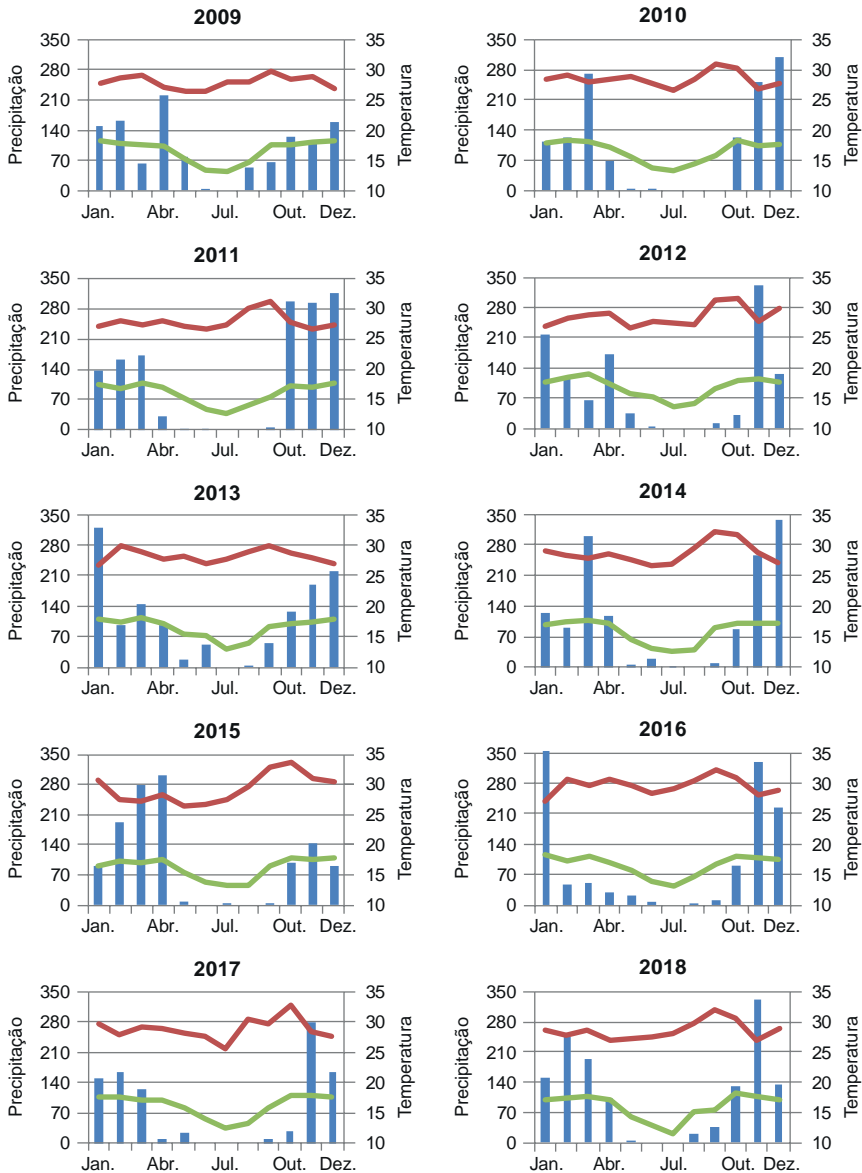


Figura 1. Precipitação mensal (mm) ■, temperatura média das máximas — e mínimas mensais —, em que temperatura em °C, coletadas em estação meteorológica próxima a área experimental.

Tabela 1. Características químicas do solo da área do experimento em coleta realizada em 2007.

Prof.	pH	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	CTC	V	CO
(cm)	H ₂ O	mg/L	mg/L	-----	cmol _c /dm ³ -----				%	g kg ⁻¹
0-20	5,55	0,48	67,24	0,14	1,45	0,86	4,41	6,90	35,70	16,59
20-40	5,47	0,64	33,44	0,23	0,96	0,57	4,19	5,81	27,37	13,46

CTC = Ca+Mg+K/391+(H+Al); V% = ((Ca+Mg+K/391)/CTC)x100; CO = carbono orgânico.

O desenho experimental foi em blocos ao acaso e 3 repetições nos cinco tratamentos (Tabela 2). No presente estudo, foi utilizado somente o sistema que o eucalipto ("*Eucalyptus urograndis*") foi plantado em renques de duas linhas, num espaçamento de 2 m x 2 m entre plantas, e distância entre renques de 22 m. Cada parcela experimental foi de 1,2 ha, aproximadamente. Informações sobre as principais atividades realizadas na área experimental do presente estudo estão descritas em ordem cronológica na Tabela 3.

Tabela 2. Relação dos tratamentos experimentais (sistemas) implantados na Embrapa Cerrados, Planaltina-DF.

Ano 1	Sistema			Espaçamento (m)		Número de linhas do renque	Densidade (árvores/ha)
	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Entre árvores	Entre renques		
L	L	L	P	-	-	-	sem árvore
L + Eu	L + Eu	L + Eu	P + Eu	2 x 2	22	2	417
L + Eu	L + Eu	L + Eu	P + Eu	2 x 2	12	2	715
L + Ec	L + Ec	L + Ec	P + Ec	2 x 2	22	7	1.030
L + N	L + N	L + N	P + N	4 x 4	12	2	313

L – Lavoura de grãos; P – Pastagem consorciada; Eu – *Eucalyptus urograndis*; Ec – *Eucalyptus cloeziana*; N – Espécies nativas arbóreas.

Tabela 3. Principais atividades realizadas na área experimental em ordem cronológica.

Ano agrícola (jan./2007)	Ano agrícola (jan./2009)	Ano agrícola (fev./2009)	Ano agrícola (set./2009)
Toda a área experimental recebeu em cobertura as doses de 2,0 t/ha e 800 kg/ha de calcário e gesso agrícola	Adubação de 150 g de NPK (0 20 20) na cova e plantio de eucalipto	Entre renques: aplicação de glifosato, após adubação de 350 kg/ha de NPK (8 20 15 + micro) seguido do plantio de sorgo BRS 310 com espaçamento entre linhas de 70 cm e densidade de semeadura de 150.000 sementes/ha	Adubação foliar com boro no eucalipto. Plantio de soja Baliza (RR), adubado anteriormente com 400 kg de NPK (0 20 20)
Ano Agrícola (nov/2010)	Ano agrícola (dez/2010)	Ano agrícola (mar/2011)	Ano Agrícola (abril-set/2011)
Plantio de soja BRS 850, adubado anteriormente com 400 kg de NPK (0 20 20)	Segunda adubação no eucalipto: cobertura de 150 g de NPK (20 0 20) + (20 0 20) + 75 g de supersimples + 12 g de bórax por planta	Adubação de eucalipto: cobertura de 150 g de NPK (20 0 20) + 150 g de supersimples + 10 g de bórax por planta	Desrama de todas as árvores até altura de 6 m
Ano agrícola (out/2011)	Ano agrícola (jan/2012)	Ano agrícola (mar/2012)	Ano agrícola (mar-abril/2013)
Plantio de soja, cultivar Favorita (1,5 t/ha de calcário + 400 kg de NPK 0 20 20)	Adubação de eucalipto: cobertura de 100 g de NPK (15 20) + 10 g de bórax + 10 g sulfato de zinco	Plantio do sorgo granífero BRS 330 + <i>Bracharia brizantha</i> cv. BRS Piatã, semeada a lanço antes do plantio do sorgo. Antes do plantio destas duas culturas fez-se adubação de cobertura de 350 kg/ha de NPK (08 20 15)	Março: Adubação da <i>Bracharia brizantha</i> cv. BRS Piatã com 200 kg/ha de ureia. Abril: Entrada do componente animal (gado da raça Nelore)
Ano agrícola (fev/2014)	Ano agrícola (ago-out/2014)	Ano agrícola (jan/2016)	Ano agrícola (ago-out/2018)
Adubação da <i>Bracharia brizantha</i> cv. BRS Piatã com 130 kg/ha de uréia	Primeiro desbaste seletivo, retirando-se aproximadamente 46% das árvores	Adubação da <i>Bracharia brizantha</i> cv. BRS Piatã com 130 kg/ha de ureia	Desbaste alternado de renques (passando a distância entre renques de 22 m para 46 m) nos três blocos, retirando-se todas as árvores dentro dos renques selecionados.

Do total de 693 árvores abatidas e, após censo de DAP, 43 árvores foram selecionadas usando o critério de divisão em classes diamétricas, em que estabeleceu-se meta de cubagem de 4 árvores por classe diamétrica e por bloco (na prática não houve material disponível para alcançar esta meta, contudo o número de indivíduos por classe diamétrica foi suficiente para a concretização do trabalho em nível razoável para inferências estatísticas), baseado em trabalho de Leal et al. (2015). As árvores amostradas foram distribuídas em 4 classes de DAP para a cubagem pelo método de Smalian. As classes de diâmetro foram: (1) menor ou igual a 23,4 cm; (2) entre 23,5 cm e 29,9 cm; (3) entre 30,0 cm e 36,4 cm; e (4) maior ou igual a 36,5 cm. A frequência das árvores por classe diamétrica variou de 7 a 14. Adicionalmente, mediu-se o diâmetro do tronco nas alturas 0,1 m; 0,5 m; 1,0 m; 1,3 m; 2,3 m; 3,3 m; 4,3 m e assim por diante, de metro em metro até a altura total; o volume foi contabilizado até o seu ápice.

Das árvores cubadas, ajustou-se dois modelos e dois fatores de forma. Os modelos foram:

$$V = \beta_0 + \beta_1.DAP + \beta_2.H + \beta_3.DAP^2 + \beta_4.(DAP^2.H) + \beta_5.(DAP.H) + \mathcal{E}$$

(modelo de Meyer) extraído de Machado et al. (2002).

$$V = \beta_0 + \beta_1.DAP^2 + \mathcal{E}$$

(modelo de Kopecky-Gehhardt) extraído de Leal et al. (2015).

Em que: V = volume estimado (m^3); DAP = diâmetro à altura de 1,3 m em cm; H = altura total (m); β_n = coeficientes a serem ajustados; \mathcal{E} = erro aleatório.

E o fator de forma cuja fórmula geral é:

$$FF = \frac{4.Vreal}{DAP^2.\pi.Ht}$$

Em que: $Vreal$ = volume real determinado por seções pelo método de Smalian; DAP = diâmetro à altura do peito em m; Ht = altura total em m; $\pi = 3,1416$; FF = fator de forma, que considera o volume real total.

Por sua vez, o fator de forma foi subdividido em fator de forma médio (média das n árvores cubadas – $FF_{médio}$) e fator de forma por classe de diâmetro (média dos valores de cada classe de diâmetro – FF_{classe}).

O volume real de cada árvore foi calculado pela fórmula de Smalian:

$$V_{\text{árvore}} = \sum_{i=1}^N (\pi/8) \cdot (D_i^2 + d_i^2) \cdot L_i, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Em que:

D_i = diâmetro da secção i da base da tora (m).

d_i = diâmetro da secção i do topo da tora (m).

L_i = comprimento do torete (m) da secção i .

N = número de toretes por árvore.

A seleção do melhor modelo foi baseada nos seguintes critérios estatísticos de escolha, extraídos de Tenzin et al. (2017):

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(V_i - \widehat{V}_i) - (\sum_{i=1}^n (V_i - \widehat{V}_i) / n)]^2}{n - 1}}$$

$$S_{xy} \% = \frac{S_{xy}}{\bar{V}} \times 100$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \widehat{V}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}$$

Em que:

S_{xy} = erro padrão da estimativa.

R^2 = coeficiente de determinação.

V_i = volume observado da árvore i .

\widehat{V}_i = volume estimado da árvore i .

\bar{V} = volume observado médio.

Apesar de os estimadores de ajuste serem bons indicadores para a escolha do melhor modelo, considera-se indispensável a análise gráfica de resíduos, que permite detectar se há ou não tendência nas estimativas ao longo

da linha de regressão, bem como avaliar se os resíduos são independentes ou mesmo se há homogeneidade em sua variância (Machado et al., 2005). O resíduo percentual foi calculado com a seguinte fórmula:

$$\text{Resíduo}_i \% = \left(\frac{V_i - \hat{V}_i}{V_i} \right) \times 100$$

Para as análises estatísticas, comparou-se o volume real, determinado por Smalian, com os quatro métodos de estimativa de volume citados. Para a comparação entre médias do volume observado com os estimados, utilizou-se o teste t de Student (Proc ttest do SAS) ao nível de 95% de probabilidade. Antes de realizar essas comparações, verificou-se a homogeneidade de variâncias pelo teste de F dobrado e a normalidade pelo Proc univariate do SAS (Alves, 2016). Quando necessário, foram realizadas transformações dos dados para se adequar a estas duas condições (normalidade e homogeneidade). Para determinar os coeficientes das equações de volume de Kopezky-Gehhardt e Meyer, utilizou-se o Proc model do SAS. Os fatores de forma médio e por classes de diâmetro, coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão da estimativa (S_{xy}) e ($S_{xy}^{\circ}/\%$) foram calculados no programa Excel.

Resultados e Discussão

Na Tabela 4, são mostrados a média de crescimento em altura e o diâmetro à altura do peito (DAP) até os 9,5 anos do plantio de *Eucalyptus urograndis*, em que foi realizado a cubagem das árvores do presente trabalho. Nota-se, aos 6,5 anos do plantio, que o acréscimo em DAP e em altura foi superior aos anos imediatamente anteriores devido ao desbaste seletivo realizado em 2014. Aos 5,5 anos (66 meses) após o plantio, o DAP e a altura foram similares a clone de um híbrido natural de *Eucalyptus urophylla* com *E. camaldulensis* de 67 meses com espaçamento de 10 m x 2 m, em sistema agrossilvipastoril implantado em área de Cerrado (Paracatu, MG) em estudo realizado por Kruschewsky et al. (2007). Por sua vez, Magalhães et al. (2018), em estudo com eucalipto, dentro de sistema agrossilvipastoril implantado em Sinop, MT, em um espaçamento de 30 m entre renques e 3 linhas no renque com espaçamento entre plantas de 3,5 m x 3,0 m, aos 56 meses do plantio,

mostraram valor similar ao DAP do presente estudo, cujas plantas tinham 54 meses após o plantio.

Tabela 4. Média de crescimento em altura (ALT) e diâmetro à altura do peito (DAP) em relação ao tempo de plantio de *Eucalyptus urograndis*, com distância entre renques de 22 m e, espaçamento de 2 m x 2 m entre plantas, no renque.

	Idade do plantio (anos)								
	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5
	(2010)	(2011)	(2012)	(2013)	(2014)	(2015)	(2016)	(2017)	(2018)
DAP (cm)	5,1	10,5	14,6	16,9	18,7	23,5	25,1	26,7	28,1
ALT (m)	5,8	12,9	17,9	21,7	24,2	27,1	28,9	30,4	31,8

Na Tabela 5, é apresentado um resumo dos dados experimentais observados, em que o volume foi calculado pelo método de Smalian, em árvores de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* de 9,5 anos após o plantio, em sistema agrossilvipastoril.

Tabela 5. Volume total e médio amostral obtido por Smalian em povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* de 9,5 anos após o plantio em sistema agrossilvipastoril.

Classe diamétrica (cm)	Frequência	Volume total amostral (m³)	Volume médio amostral (m³)
≤ 23,4	10	3,816	0,382
23,5-29,9	14	10,160	0,726
30,0-36,4	12	13,804	1,150
≥36,5	7	11,270	1,610

Na Tabela 6, são relatadas as estatísticas associadas a cada um dos modelos estudados. Observou-se que o erro padrão percentual da estimativa ($S_{xy}\%$), em relação ao volume real, foi inferior no modelo de Meyer e no fator de forma por classe diamétrica. Já os coeficientes de determinação foram bastante similares para o modelo de Meyer e os fatores de forma médio e por classe diamétrica.

Tabela 6. Coeficientes de regressão (β), coeficientes de determinação (R^2) e erros padrões percentuais das estimativas ($S_{xy}\%$) para os modelos Kopezky-Gehardt e Meyer de estimativa de volume e dos fatores de forma médio ($FF_{\text{médio}}$) e por classe diamétrica (FF_{classe}).

Modelo ou fator de forma	Coeficiente ou fator de forma						Parâmetro estatístico ⁽¹⁾	
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R^2	$S_{xy}\%$
Kopezky Gehardt	-0,12501	0,001138					0,935	12,8%
Meyer	-2,29505	0,192957	0,053768	-0,00412	0,000134	-0,00458	0,975	7,7%
$FF_{\text{médio}}$	0,4141						0,968	8,8%
	Classe ⁽²⁾ I	Classe II	Classe III	Classe IV				
FF_{classe}	0,41451	0,43033	0,40588	0,40572			0,972	8,3%

⁽¹⁾ R^2 = coeficiente de determinação; $S_{xy}\%$ = erro padrão da estimativa ou coeficiente de variação;

⁽²⁾ Classes de DAP: I ($\leq 23,4$ cm), II (23,5-29,9 cm), III (30,0-36,4 cm), IV ($\geq 36,5$ cm).

Os coeficientes de determinação (R^2) do presente trabalho, para os modelos Meyer e do FF_{classe} , foram similares a trabalho de Müller et al. (2009) usando modelo de Shumacher e Hall (normalmente apresenta resultados similares ao de Meyer em trabalhos científicos da área florestal) em *Eucalyptus grandis* de 10 anos de idade em sistema silvipastoril, em que o arranjo espacial das árvores apresentou distância entre renques de 30 m e, dentro do renque, três linhas com espaçamento de 3 m x 3 m entre plantas. Por sua vez, em relação aos modelos de Meyer e fator de forma por classe diamétrica do presente trabalho, os valores dos coeficientes de determinação foram similares e os erros padrões percentuais da estimativa ($S_{xy}\%$) foram ligeiramente superiores ao trabalho de Paula et al. (2013), em sistema silvipastoril com clone de *Eucalyptus camaldulensis* de 50 meses após o plantio, em que as plantas estavam dispostas num espaçamento de 10 m entre renques e, dentro do renque, duas linhas com espaçamento de 2 m x 2 m entre plantas, em cerrado da região de Vazante, MG, utilizando modelo de Shumacher e Hall.

Uma provável explicação para o modelo de Meyer (modelo de dupla entrada: DAP e altura) ser superior ao de Kopezky-Gehardt (modelo de simples entrada: DAP) no presente trabalho é que foi observada uma correlação moderada entre as variáveis altura total e DAP. Já quando se unem as duas variáveis (altura e DAP), houve um acréscimo na acurácia das estimativas de

volume desde que houve forte correlação entre volume e altura e, muito forte, entre volume e DAP (Tabela 7). As equações de simples entrada, em que o volume é função somente do diâmetro das árvores, são normalmente aplicadas quando a correlação entre o diâmetro e a altura é muito forte, ou seja, em que há bastante homogeneidade no desenvolvimento em altura das árvores de mesmo diâmetro. Por sua vez, as equações de dupla entrada, em que o volume é em função do diâmetro e da altura, são aplicadas para povoamentos em que há uma maior heterogeneidade no desenvolvimento da altura das árvores com mesmo diâmetro e existe uma forte correlação entre as variáveis altura e DAP com o volume (Thiersch et al., 2006; Miranda et al., 2015).

Tabela 7. Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (HT), volume total (VT). Os valores entre parênteses abaixo de cada valor representam o nível de significância da correlação específica.

	DAP	HT	VT
DAP	1	0,70541 (<0,0001)	0,96195 (<0,0001)
HT		1	0,78870 (<0,0001)
VT			1

O *resíduo percentual* apresentou maior dispersão dos dados no modelo de Kopecky–Gehhardt em relação aos outros métodos no volume total (Figura 2). Por sua vez, quando se compara o resíduo percentual do modelo de Meyer com o do fator de forma médio e o fator de forma por classe de diâmetro do tronco, observa-se que houve similaridade entre eles. A dispersão de correlações para os quatro métodos de determinação de volume total confirma a tendência observada nos resíduos percentuais (Figura 3).

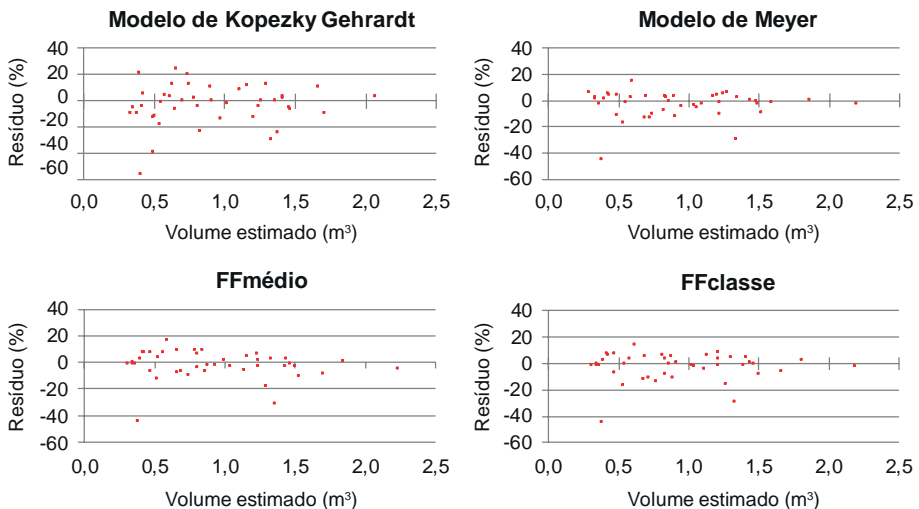


Figura 2. Resíduo percentual em relação ao volume estimado de “*Eucalyptus urograndis*” de 9,5 anos em sistema agrossilvipastoril, pelos modelos de Kopezky-Gehhardt, Meyer e, dos fatores de formas médio (*FFmédio*) e por classe diamétrica (*FFclasse*).

Outrossim, quando se fez o teste de homogeneidade de variâncias entre o volume observado com os volumes estimados pelos outros métodos, as variâncias se apresentaram iguais estatisticamente, juntamente com suas médias (Tabela 8). Houve coincidência de média entre o valor observado (Smalian) e o modelo de Kopesky-Gerhardt pelo teste t, o que não significa que seja o melhor método, pois o teste t simplesmente faz a diferença entre as duas médias (médias dos valores observados e valores estimados pelos modelos e fatores de forma) e divide o resultado pelo desvio padrão médio das duas amostras multiplicado por $\sqrt{\frac{2}{n}}$, em que n = número de valores obtidos de cada amostra. Entretanto, os valores de probabilidade na homogeneidade de variâncias, que foram superiores no modelo de Meyer e fator de forma por classe de diâmetro, podem ser indicativos de uma melhor aderência dos dados estimados aos observados. A superioridade dos modelos de Meyer e fator de forma por classe diamétrica em relação ao modelo de Kopesky-Gerhardt é melhor explicitada pela combinação de maiores coeficientes de determinação com menores erros padrões percentuais da estimativa (Tabela 6).

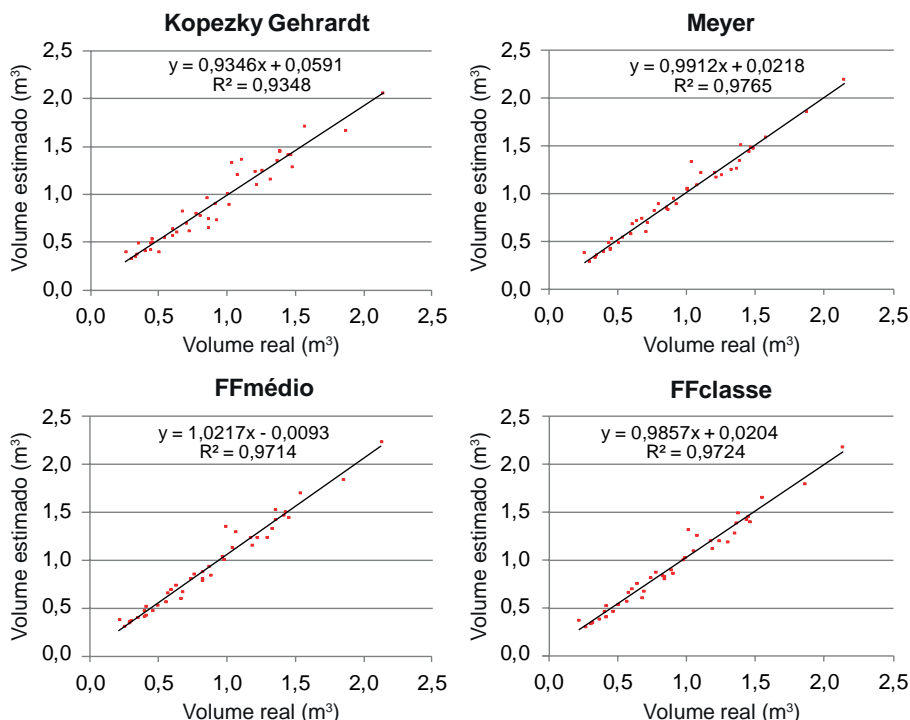


Figura 3. Dispersão de correlações para os quatro métodos de determinação de volume total (m³) no híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 9,5 anos.

Tabela 8. Volume médio com casca para os cinco métodos; homogeneidade de variâncias entre volume observado e estimado e, teste t de Student, para verificar se existe diferença entre as médias do volume observado com o estimado.

Método	Média de volume total com casca (m³)	Homogeneidade de variâncias entre volume observado e estimado Probabilidade > F	Teste T de Student entre as médias de volume observado e estimado Probabilidade > ITI
1 - Smalian (observado)	0,908		
2 - Kopezky-Gehardt	0,908	0,8269 (1&2)	0,9973 (1&2)
3 - Meyer	0,922	0,9839 (1&3)	0,8887 (1&3)
4 - Fator de forma médio	0,918	0,8172 (1&4)	0,9179 (1&4)
5 - Fator de forma por classe de diâmetro	0,916	0,9972 (1&5)	0,9399 (1&5)

Conclusões

- O modelo de Meyer gerou as melhores e mais acuradas estimativas de volume quando comparado com o modelo de Kopezky-Gehardt.
- As estimativas de volume geradas pelo fator de forma por classe diamétrica aproximaram-se das estimativas do modelo de Meyer podendo eventualmente assim substituí-lo.
- Estatisticamente, não houve diferença entre a média do volume real (determinado por Smalian) e a média dos volumes estimados pelos modelos de regressão e dos fatores de forma.

Referências

ALMEIDA, R. R. **Potencial da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para a produção de lâminas e manufatura de painéis compensados**. 2002. 75 f. Dissertação (Mestrado Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-19082002-151109/publico/renato.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2019.

ALVES, M. C. **Proc ttest: comparando duas médias**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2016. 15 p. Disponível em: http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:syllabvs:lcf5759;proc_ttest_teste_de_hipoteses.pdf. Acesso em: 19 mar. 2019.

ARRUDA, R. O. G. **Estudo da arte do uso de redes neurais, geoestatística e de métodos de regressão na estimativa do volume da madeira**. 2018. 40 f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso de Especialização em Manejo Florestal de Precisão) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <https://acervodigital.ufrpr.br/handle/1884/56381>. Acesso em: 15 maio 2019.

ARRUDA, T. P. M.; HEIN, P. R. G.; FONSECA, A. S.; CASTRO, J. P. Propriedades da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para uso energético no Mato Grosso. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 11, n. 2, p. 127-136, 2013.

BAIMA, A. M. V.; SILVA, S. M. A. da; 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. de; YARED, J. A. G. (ed.). **A silvicultura na Amazônia Oriental: contribuições do projeto Embrapa-DFID**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental: DFID, 2001. p. 367-392.

BARROS, M. V.; FINGER, C. A. G.; SCNEIDER; SANTINI, E. J. Fator de cubicação para toretes de *Eucalyptus grandis* e sua variação com o tempo de exposição ao ambiente. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p. 109-119, 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/515/401>. Acesso em: 19 fev. 2019.

CARVALHO, A. M.; NAHUZ, M. A. R. Variação da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 61-76, 2001. Disponível em: <https://www.ipef.br/PUBLICACOES/scientia/nr59/cap05.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2019.

CARVALHO, A. M.; NAHUIZ, M. A. R. Interferência na qualidade e rendimento de polpa celulósica de eucalipto devido ao uso múltiplo da madeira. **Cerne**, v. 10, n. 2, p. 242-256, 2004.

CONSELHO DE INFORMAÇÃO SOBRE BIOTECNOLOGIA. **Guia do Eucalipto**: oportunidade para um desenvolvimento sustentável. [S. l.], 2008. 20 p. Disponível em: http://avamflora.com.br/wp-content/uploads/2015/11/Guia_do_Eucalipto.pdf. Acesso em: 04 jun. 2019. Era CIB

KRUSCHEWSKY, G. C.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; OLIVEIRA, T. K. Arranjo estrutural e dinâmica de crescimento de *Eucalyptus* spp em sistema agrossilvipastoril no cerrado. **Cerne**, v. 13, n. 4, p. 360-367, out./dez. 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/744/74413403.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2019.

LEAL, F. A.; CABACINHA, C. D.; CASTRO, R. V. O.; MATRICARDI, E. A. T. Amostragem de árvores de *Eucalyptus* na cubagem rigorosa para estimativa de modelos volumétricos. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 33, n. 1, p. 91-103, 2015. Disponível em: http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v33/v33_n1/A8_Fabricio.pdf. Acesso em: 03 mar. 2019.

MACHADO, S. S.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 185-197, 2002. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/462/617>. Acesso em: 04 abr. 2019.

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B. Comparação de métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbastes. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 50, p. 81-98, jan./jun. 2005

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; URBANO, E. Comportamento de fatores de forma em plantações de *Pinus oocarpa* com diferentes idades e número de desbastes. In: CONGRESSO FLORESTAL, 8., 2003, São Paulo. **Benefícios, produtos e serviços da floresta**: oportunidades e desafios do século XXI. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura: Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais, 2003. 1 CD-ROM.

MAGALHÃES, A. S.; PEDREIRA, B. C.; TONINI, H.; FARIAS NETO, A. L. Crop, livestock and forestry performance assessment under different production systems in the north of Mato Grosso, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 93, p. 2085-2096, 2019.

MIRANDA, D. L. C.; JUNIOR, V. B.; GOUVEIA, D. M. Fator de forma e equações de volume para estimativa volumétrica de árvores em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Plena**, v. 11, n. 3, p. 1-8, 2015. Disponível em: <https://www.scientiaplenua.org.br/sp/article/view/2427>. Acesso em: 06 mai. 2019.

MÜLLER, M. D.; FERNANDES, E. N.; CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. F. Estimativa de Acúmulo de Biomassa e Carbono em Sistema Agrossilvipastoril na Zona da Mata Mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 11-17, dez. 2009. Edição Especial.

NUNES, J. S.; SOARES, T. S. Estimativas volumétricas para um povoamento adensado de *Eucalyptus* sp. em regime de curta rotação. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 4, p. 77-86, out./dez. 2017.

PAULA, R. R.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; OLIVEIRA NETO, S. N.; LEITE, H. G.; MELIDO, R. C. N.; LOPES, H. N. S.; SOUZA, F. C. Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. **Agroforestry Systems**, v. 87, p. 1295-1307, 2013.

TENZIN, J.; WANGCHUK, T.; HASENAUER, H. Form factor functions for nine commercial tree species in Bhutan. **Forestry: An International Journal of Forest Research**, v. 90, n. 3, p. 359-366, May 2017.

THAINES, F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; THAINES, A. A. R. Equações para estimativa de volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 283-289, nov/dez. 2010. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/155/142>. Acesso em: 08 dez. 2019.

THIERSCH, C. R.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R.; DEHON, G. Acurácia dos métodos para estimativa do volume comercial de clones de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, v. 12, n. 2, p. 167-181, abr/jun, 2006.

Embrapa

Cerrados

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL