

## Estimativas Volumétricas y Hipsométricas para el Barbatimão en el Norte de Minas Gerais

Aldenir Teixeira da Gama<sup>1\*</sup>, Christian Dias Cabacinha<sup>2</sup>,  
Messulan Rodrigues Meira<sup>1</sup>, Marcos Vinicius Santana Leite<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Montes Claros/MG, Brasil

<sup>2</sup>Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Montes Claros/MG, Brasil

### RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar las estimaciones de volumen y altura para el barbatimão con el fin de generar ecuaciones, que se puedan utilizar en la preparación de planes de gestión sostenible de esta especie, a partir de modelos para así estimar el volumen total con corteza, sin corteza y de la corteza, y también las relaciones hipsométricas. Se comparó también la producción de corteza en las diferentes clases diamétricas. Un inventario forestal ejecutado posibilitó la realización de la cubicación rigurosa de 100 árboles, separados en ocho clases diamétricas por el método de Huber. Se probaron 16 modelos volumétricos de entrada simple y doble, y 6 de relaciones hipsométricas. Los modelos que mejor se ajustaron fueron el de Husch y Spurr en su forma logaritimizada para las estimaciones de volumen y el de Stofel para las estimaciones de altura. Respecto a la proporción de corteza se ha encontrado un mayor porcentaje en los especímenes de las menores clases diamétricas.

**Palabras-clave:** modelos volumétricos, Cerrado *stricto sensu*, cubicación rigurosa, corteza.

## Barbatimão Volumetrics and Hypsometrics Estimates in Northern Minas Gerais

### ABSTRACT

This study sought to assess the barbatimão volume and height estimates generating equations that can be used in the preparation of sustainable management plans from models to estimate the total volume with bark, without bark, of the bark as well as hypsometric relations. The production of bark in the various diameter classes was also compared. A forest inventory was conducted and generated the rigorous cubage of 100 separate trees in eight diameter classes by the method of Huber and tested 16 models of volumetric single and double entry and six of hypsometric relations. The best fit models were the Husch and Spurr in logarithmic form and the best height model was Stofel. Regarding the bark proportion it was found a higher percentage in individuals with the lowest diameter classes.

**Keywords:** volumetric models, Savanna, rigorous cubage, bark.

## 1. INTRODUCCIÓN

El bioma Cerrado es el segundo mayor bioma de Brasil. Con un área original de 2 millones de km<sup>2</sup> es considerado uno de los 34 hotspots del mundo (Mittermeier et al., 2005). En la actualidad la mitad de esta zona está deforestada debido a la ocupación desordenada que trae como consecuencia la fragmentación del hábitat, la extinción de la biodiversidad, la invasión de especies exóticas, la erosión del suelo, la contaminación de los acuíferos, la degradación de los ecosistemas, los cambios en los regímenes de incendios, los desequilibrios en el ciclo del carbono y, posiblemente, los cambios climáticos regionales (Klink & Machado, 2005).

El aumento de la explotación de la vegetación, sin el previo conocimiento de la auto-ecología de las especies y de las condiciones microclimáticas del hábitat, ha afectado drásticamente la biodiversidad de los ecosistemas, en particular la del Cerrado, donde muchas especies se están extinguiendo sin que se hayan podido evaluar todas sus potencialidades (Marques & Joly, 2000).

De acuerdo con Endress et al. (2006) la importancia de la conservación de las especies forestales está centrada en el hecho de que millones de personas que viven en las zonas rurales satisfacen una parte considerable de sus necesidades básicas y de renta a partir de la cosecha de productos forestales no maderables (PFNMs), desconociéndose, en la mayoría de los casos, el impacto ecológico de dicha cosecha en las especies, a pesar de la importancia de dichos productos para el desarrollo sostenible.

Entre las especies utilizadas por las comunidades rurales está la *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville (barbatimão), una especie ampliamente diseminada por el Cerrado brasileño, muy utilizada por sus propiedades medicinales y empleada en el curtido de cuero, generando ingresos en las familias de agricultores que usan dicho recurso. Actualmente esta especie está siendo ampliamente utilizada por la industria farmacéutica.

Lo preocupante del barbatimão es que su corteza se recolecta de forma desordenada, sin criterios de elección de los especímenes, poniendo a la especie en peligro de extinción en el caso de que se intensifique la expansión agrícola y urbana, sin que ningún programa

de conservación se lleve a cabo (Borges & Felfili, 2003), sobretodo ante la creciente demanda industrial de la corteza.

Para programar el manejo forestal en bases sustentables es fundamental conocer la estructura, la dinámica y las especies que forman la vegetación de la zona a ser gestionada (Mello et al., 1996) y también la del producto que se espera cosechar. Deben adoptarse sistemas de gestión que puedan combinar la información de los inventarios forestales y otras informaciones más específicas del uso de las especies (Kirby & Potvin, 2007).

El uso de modelos matemáticos para estimar la altura y el volumen es una práctica adoptada en las acciones de manejo sustentable, porque a partir de estas variables se puede conocer la cantidad de producto que debe extraer una población o comunidad forestal, evitándose los excedentes de producción y garantizando, así, la sustentabilidad de la especie.

Se han desarrollado muchas ecuaciones matemáticas para estimar el volumen de comunidades forestales que, a pesar de la eficiencia de algunos modelos, no siempre se ajustan a todas las especies y condiciones, siendo recomendable probarlos y, por medio de estadísticas adecuadas, identificar el mejor modelo para cada caso particular (Thomas et al., 2006).

Hay pocas experiencias de gestión centradas en múltiples productos, es decir, en el aprovechamiento de todos los componentes del árbol para especies forestales. En términos de investigación, se puede citar la experiencia de Perez et al. (2004) que evaluó diferentes sistemas de gestión para la candeia (*Eremanthus eritropappus* (DC.) MacLeish) en el sur del estado de Minas Gerais. Sin embargo, hay muchas otras especies de la flora brasileña potenciales para esta práctica, como es el caso del barbatimão.

Por tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar las estimaciones de volumen y altura del barbatimão en el Norte de Minas Gerais para generar ecuaciones que puedan utilizarse en la preparación de planes de gestión sostenible de esta especie. Específicamente se trató de estimar los volúmenes totales con corteza, sin corteza y de la corteza a partir de modelos volumétricos de entrada simple y doble, y la altura total con relaciones hipsométricas. También se comparó la producción de la corteza en las diferentes clases diamétricas.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

La colecta de los datos para este estudio se realizó en un área de Cerrado *stricto sensu*, localizada en la finca Bela Vista situada en el municipio de Botumirim, al norte de Minas Gerais, distante 512 km de Belo Horizonte.

La finca Bela Vista, de propiedad privada, ocupa una superficie de 170 hectáreas. Se encuentra a 892,22 metros de altitud y entre las coordenadas 16° 58' 4,05" S y 43° 4' 31,16" W. Tiene como suelos predominantes el latosolo rojo amarillo distrófico típico y el cambisolo háplico y distrófico. El clima de la región es del tipo Aw según la clasificación de Köppen, con una temperatura promedio de 22,4 °C y precipitación media anual de 1.082 mm, con estación marcadamente seca desde el mes de mayo hasta mediados de octubre (Figura 1).

Se realizó un inventario forestal en una superficie de 33,20 hectáreas. En el inventario se muestrearon 25 parcelas de 20x20 m, lanzadas en transectos distantes a 80 m entre sí y equidistantes a 20 m. En las parcelas se tomaron muestras de todos los especímenes de *S. adstringens* con DAP ≥ 3cm y se midió su altura, a

través de una mira topográfica, y sus diámetros a una altura de 1,30 m sobre el suelo (DAP), con forcípula.

Sobre la base de los datos del inventario forestal, y debido a la amplitud de esos datos, fue posible agrupar los diámetros en 8 clases, con un intervalo de 2,33 cm entre las clases. La distribución de los especímenes, determinada por el diámetro, fue obtenida a partir de la frecuencia (*f<sub>i</sub>*) con intervalos de clases determinados a partir de la fórmula Spiegel (1976):  $IC=A/nc$ . Donde A=amplitud, nc=número de clases, siendo que  $nc=1+3,3 \log(n)$  y n=número de especímenes.

Siguiendo la recomendación de Scolforo & Thiersch (2004), según la cual deben cubicarse rigurosamente como mínimo 8 árboles por clase diamétrica con una amplitud de hasta 3cm, fueron cubicados un total de 100 árboles, distribuidos en diferentes clases diamétricas (Tabla 1) de manera que abarcase todas las variaciones de forma de la población estudiada. Antes de proceder al cubicado, se obtuvieron las autorizaciones para la intervención ambiental y porte de motosierra otorgada por el órgano de fiscalización del Estado, el Instituto Estadual de Florestas (IEF).

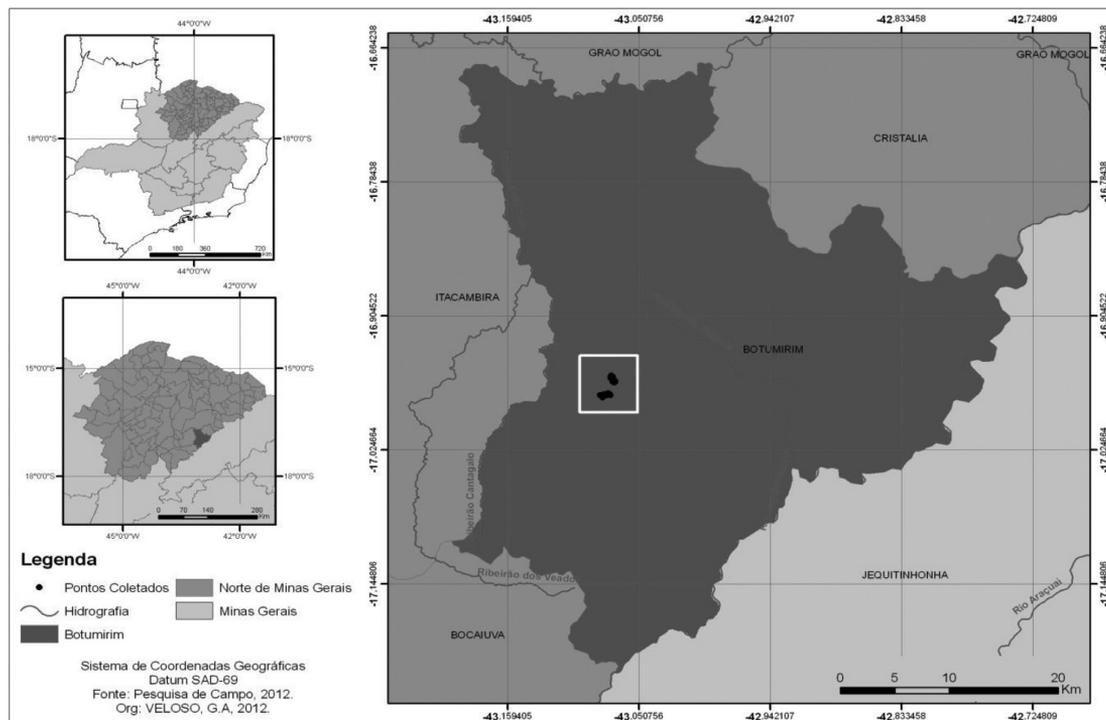


Figura 1. Localización del área estudiada.  
Figure 1. Location of the studied area.

Igualmente, antes de proceder al cubicado riguroso, se midieron la altura total (HT), la altura comercial (Hcom) y la circunferencia a 1,30 m por encima del suelo (CAP), que posteriormente se transformó en diámetro (DAP). Se utilizaron cintas métricas para medir la altura total y comercial y para medir las CAPs. Las ramas se separaron en finas, ramas de 2 a 5 cm de diámetro, y gruesas, ramas con diámetros mayores de 5 cm. Se cubicaron las ramas hasta un diámetro mínimo de 2 cm, porque la comunidad local retira las cortezas de las ramas a partir de este diámetro. Para el cubicado de los árboles se adoptó el método de Huber, donde se midió la longitud de la sección y la circunferencia en el centro de la sección.

Se retiraron discos a 0%, 25%, 50%, 75% y 100% del fuste comercial, con ≈ 3 cm de espesor midiéndose el diámetro de los discos y las espesuras de sus cortezas. A partir de los diámetros con y sin corteza en las diferentes posiciones de los discos se realizó un análisis de regresión donde se generó la siguiente ecuación para obtener el diámetro sin corteza conforme la Ecuación 1:

$$ds / c = -0,770964165 + 0,893300814 * dc / c \tag{1}$$

$$R^2 = 99,33\%; S_{yx} = 0,2956 \text{ cm}$$

Donde: ds/c es el diámetro sin corteza, dc/c es el diámetro con corteza.

Esta ecuación fue aplicada a los datos de cubicación rigurosa, obteniéndose así el diámetro sin corteza en las diferentes secciones de los árboles muestreados y, posteriormente, se calculó el volumen total sin corteza. Ya el volumen de la corteza fue obtenido por la diferencia entre el volumen total con corteza y el volumen total sin corteza.

Se ajustaron 16 modelos volumétricos de simple y doble entrada (Tabla 2) y 6 modelos de relación hipsométrica (Tabla 3) ampliamente utilizados en la literatura forestal

Los mejores modelos fueron seleccionados basándose en los siguientes criterios: dispersión gráfica de los residuos, error estándar de la estimación en porcentaje y el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{aj}$ ) en porcentaje.

El error estándar de la estimación ( $S_{yx}\%$ ) fue calculado de acuerdo a la Ecuación 2:

$$S_{yx} = \sqrt{CM_{res}} \Rightarrow S_{yx}(\%) = \frac{S_{yx}}{\bar{x}} \tag{2}$$

Donde: CMres = cuadrado medio del residuo obtenido en el análisis de varianza.

El coeficiente de determinación ajustado  $R^2_{aj}$  fue obtenido por la Ecuación 3:

$$R^2_{aj} = \left\{ R^2 - \left[ \frac{k-1}{N-K} \right] * (1-R^2) \right\} * 100 \tag{3}$$

Donde K= número de coeficiente de la ecuación y N= número de observaciones.

Con el fin de comprobar si existían diferencias en la cantidad de corteza entre especímenes de diferentes posiciones sociológicas en la población estudiada de barbatimão se calculó el porcentaje de corteza para las diferentes clases diamétricas por la razón entre el volumen de la corteza y el volumen total con corteza y se multiplicó por cien.

Los datos porcentuales para las diferentes clases diamétricas fueron sometidos a análisis de varianza y las medias se compararon mediante la prueba de Scott-Knott al 5% de probabilidad. Los datos fueron

**Tabla 1.** Distribución de los árboles cubicados por clases de diámetro (cm) y altura (m).

**Table 1.** Distribution of the trees cubed by diameter classes (cm) and height (m).

Clases de Diámetro	Clases de Altura								TOTAL
	1,35 --  2,05	2,05 --  2,75	2,75 --  3,45	3,45 --  4,15	4,15 --  4,85	4,85 --  5,55	5,55 --  6,25	> 6,25	
3,00 --  5,33	5	8	2	-	-	-	-	-	15
5,33 --  7,65	-	2	6	3	-	-	-	-	11
7,65 --  9,98	-	-	6	5	3	-	-	-	14
9,98 --  12,30	-	1	1	2	3	4	1	-	12
12,30 --  14,63	-	-	-	2	6	4	-	-	12
14,63 --  16,95	-	-	-	1	4	5	1	2	13
16,95 --  19,28	-	-	-	-	2	2	5	5	14
> 19,28	-	-	-	-	1	-	4	4	9
TOTAL	5	11	15	13	19	15	11	11	100

**Tabla 2.** Modelos volumétricos de simple y doble entrada.  
**Table 2.** Volumetric models of simple and double entry.

Autor	Modelo
Kopecky-Gehrhardt	$V = \beta_0 + \beta_1 dap^2 + \varepsilon$
Dissescu-Meyer	$V = \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \varepsilon$
Hohenadl-Krenm	$V = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \varepsilon$
Berkhout	$V = \beta_0 dap^{\beta_1} + \varepsilon$
Husch	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Lndap + \varepsilon$
Brenac	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Lndap + \beta_2 \frac{1}{dap} + \varepsilon$
Schumacher-Hall(log)	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Lndap + \beta_2 Lnht + \varepsilon$
Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 dap^2 ht + \varepsilon$
Schumacher-Hall	$V = \beta_0 dap^{\beta_1} ht^{\beta_2} + \varepsilon$
Honner	$V = \frac{dap^2}{\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{ht}} + \varepsilon$
Ogaya	$V = dap^2(\beta_0 + \beta_1 ht) + \varepsilon$
Stoate	$V = \beta_0 + \beta_1 dap^2 + \beta_2 dap^2 ht + \beta_3 ht + \varepsilon$
Naslund	$V = \beta_1 dap^2 + \beta_2 dap^2 ht + \beta_3 dapht^2 + \beta_4 ht^2 + \varepsilon$
Takata	$V = \frac{dap^2 ht}{\beta_0 + \beta_1 dap} + \varepsilon$
Spurr(log)	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Ln(dap^2 ht) + \varepsilon$
Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \beta_3 dapht + \beta_4 dap^2 ht + \beta_5 ht + \varepsilon$

V= volumen; *dap* = diámetro a la altura del pecho; *ht* = altura total;  $\beta'_s$  = parámetros a ser estimados; *Ln* = logaritmo neperiano;  $\varepsilon$  = error de estimativa.

balanceados para un número igual de repeticiones en todas las clases (nueve árboles), para que no haya pérdida de precisión en el análisis.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 4 muestra un resumen de los datos de la cubicación rigurosa de los árboles en las ocho clases diamétricas, sus respectivos valores mínimos, medios y máximos de diámetro, altura y volúmenes totales con corteza, sin corteza y de la corteza. El mayor diámetro encontrado fue 20,84 cm y el menor 3,34 cm. La altura de los árboles varió entre 1,88 m y 8,48 m, mientras volúmenes varían entre 0,0016 m<sup>3</sup> y 0,2057 m<sup>3</sup> (total

con corteza), 0,0008 m<sup>3</sup> y 0,1175 m<sup>3</sup> (total sin corteza) y entre 0,0008 m<sup>3</sup> y 0,1100 m<sup>3</sup> (volumen de la corteza).

#### 3.1. Volumen total con y sin corteza

Para los modelos volumétricos de simple entrada utilizados para el volumen total con corteza, los gráficos de dispersión de los residuos mostraron una tendencia a subestimar los valores en las menores clases de diámetro en los modelos Kopecky Gehrhardt y Dissescu-Meyer. El modelo que presentó la mejor dispersión de los residuos fue el de Husch (Figura 2a) mostrando una mejor distribución de los residuos a lo largo del eje cero, presentando también un menor error estándar residual (Tabla 5).

**Tabla 3.** Modelos de relación hipsométrica.  
**Table 3.** Models of Hypsometric relation.

Autor	Modelo
*	$ht = \beta_0 + \beta_1 \cdot dap + \varepsilon$
Trorey	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot dap + \beta_2 \cdot dap^2 + \varepsilon$
Stofel	$Lnht = \beta_0 + \beta_1 \cdot Ln \cdot dap + \varepsilon$
Curtis	$Lnht = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{dap} + \varepsilon$
Prodan	$ht = \frac{dap^2}{\beta_0 + \beta_1 \cdot dap + \beta_2 \cdot dap^2} + \varepsilon$
Petterson	$ht = \left[ \frac{1}{\sqrt[3]{\beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{dap}}} \right] + \varepsilon$

\*modelo citado por: Azevedo et al. (1999), Bartoszeck et al. (2002), Campos & Leite (2002), Scolforo (2005). *ht* = altura total; *dap* = diámetro a la altura del pecho;  $\beta'_s$  = parámetros a ser estimados; *Ln* = logaritmo neperiano;  $\varepsilon$  = error de estimativa.

**Tabla 4.** Síntesis de los datos de la cubicación rigurosa.  
**Table 4.** Synthesis of data from the rigorous cubage.

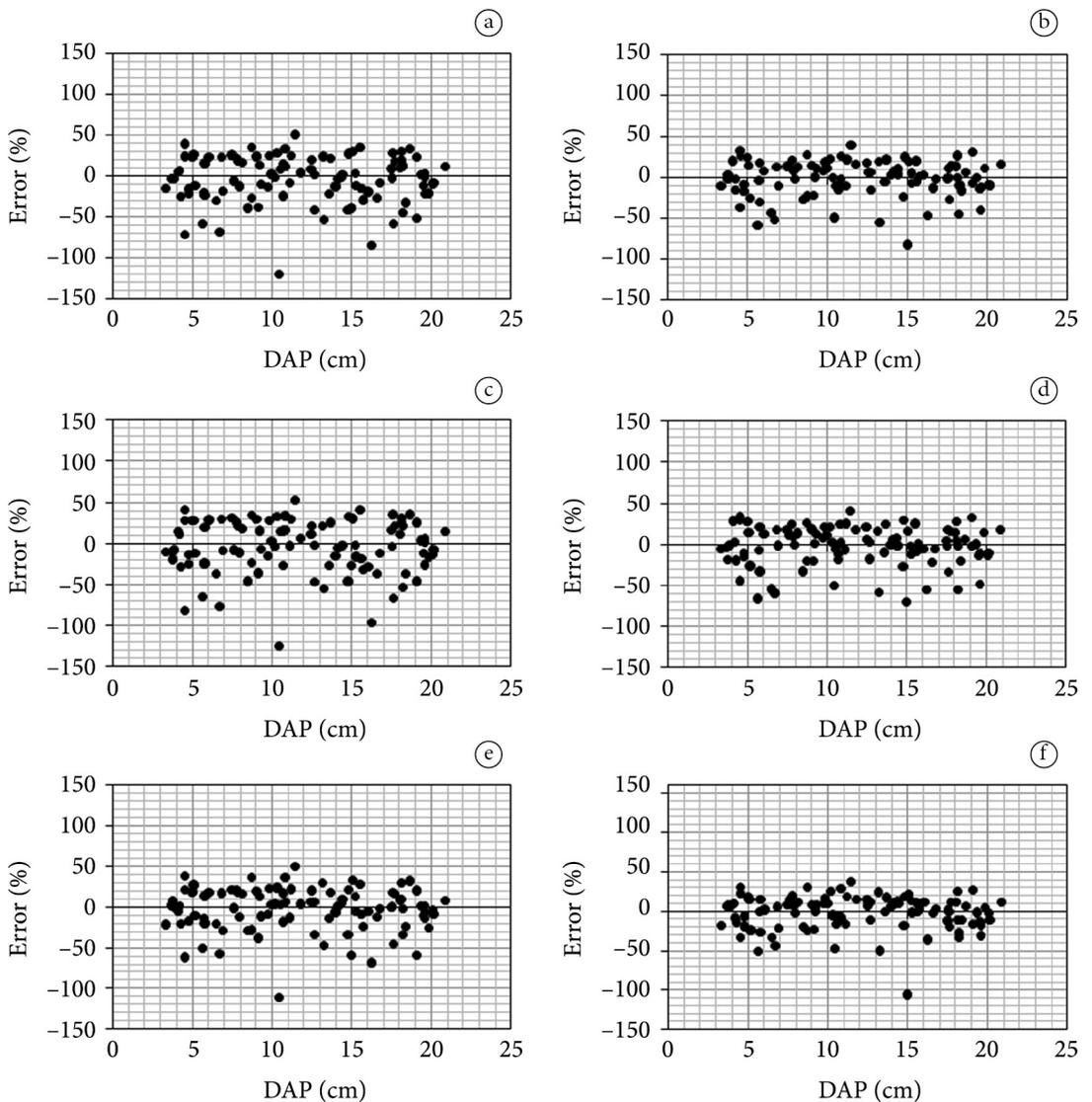
	CLASES DE DIÁMETRO							
	3,00 --  5,33	5,33 --  7,65	7,65 --  9,98	9,98 --  12,30	12,30 --  14,63	14,63 --  16,95	16,95 --  19,28	> 19,28
DAP								
Máx	5,16	7,60	9,95	11,78	14,40	16,79	19,07	20,84
Mín	3,34	5,63	7,80	10,15	12,43	14,75	17,48	19,33
Media	4,37	6,45	8,85	10,83	13,41	15,59	18,13	19,83
Sd	0,55	0,72	0,74	0,49	0,73	0,67	0,52	0,47
HT								
Máx	3,06	3,90	4,39	5,82	5,43	6,85	8,48	7,15
Mín	1,88	2,40	3,05	2,71	3,71	4,00	4,17	4,48
Media	2,32	3,06	3,64	4,47	4,54	5,14	6,08	6,26
Sd	0,38	0,46	0,47	0,97	0,49	0,89	1,20	0,79
VTCC								
Máx	0,0073	0,0188	0,0369	0,0829	0,0805	0,1347	0,2057	0,2049
Mín	0,0016	0,0043	0,0136	0,0144	0,0366	0,0524	0,0750	0,1274
Media	0,0039	0,0096	0,0228	0,0414	0,0601	0,0832	0,1385	0,1522
Sd	0,0018	0,0044	0,0070	0,0169	0,0143	0,0247	0,0401	0,0227
VTSC								
Máx	0,0031	0,0086	0,0164	0,0285	0,0407	0,0634	0,1175	0,1097
Mín	0,0008	0,0031	0,0077	0,0116	0,0236	0,0379	0,0562	0,0702
Media	0,0018	0,0051	0,0113	0,0208	0,0325	0,0495	0,0797	0,0983
Sd	0,0007	0,0016	0,0026	0,0049	0,0050	0,0081	0,0162	0,0122
VC								
Máx	0,0043	0,0102	0,0205	0,0544	0,0445	0,0713	0,1100	0,1001
Mín	0,0008	0,0009	0,0045	0,0028	0,0045	-0,0045	0,0117	0,0186
Media	0,0021	0,0045	0,0115	0,0206	0,0276	0,0336	0,0588	0,0539
Sd	0,0013	0,0030	0,0049	0,0132	0,0112	0,0213	0,0298	0,0214

DAP: diámetro altura del pecho; HT: altura total; VTCC: volumen total con corteza; VTSC: volumen total sin corteza; VC: volumen de corteza.

En los modelos volumétricos de doble entrada para el volumen total con corteza, el que mejor se ajustó a los datos fue el de Spurr en su forma logaritmizada (Figura 2b) la dispersión de los residuos fue semejante a las ecuaciones de Schumacher y Hall, Honner, Ogaya, Takata y Schumacher y Hall log. Hubo una pequeña variación en el error estándar residual de 25,12% a 25,87% y en el coeficiente de determinación, que varió de 92,25% a 97,43% entre todos los modelos de doble entrada evaluados (Tabla 5). Los modelos de

Suprr en su forma original y Stoate tuvieron diferentes tendencias: el primero a sobrestimar los volúmenes, y el segundo a subestimar los volúmenes en las menores clases de diámetro.

Para las estimaciones del volumen total con corteza, los modelos Dissescu-Meyer y Kopezky-Gehrhardt presentaron una tendencia a subestimar los valores en las primeras clases diamétricas. Ya los modelos de Berkhout y Hohenadl-Krenm tuvieron una tendencia a sobrestimar los valores en las menores clases diamétricas.



**Figura 2.** Dispersión de los residuos porcentuales para los mejores modelos (a) Husch; (b) Spurr log, para el volumen total con corteza; (c) Husch; (d) Spurr log, para el volumen total sin corteza; (e) Husch; (f) Spurr log, para el volumen de corteza.

**Figure 2.** Dispersion of the residues percentage for the best models (a) Husch; (b) Spurr log for the total volume with bark; (c) Husch; (d) Spurr log for the total volume without bark; (e) Husch; (f) Spurr log for the volume of the bark.

**Tabla 5.** Ecuaciones ajustadas de simple y doble entrada para el volumen total con corteza.**Table 5.** Adjusted equations of single and double entry for the total volume with bark.

MODELO	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub> %	S <sub>yx</sub> %
Kopecky – Gehrhardt	-0,0083335	0,0004136	-	-	-	-	87,21	32,69
Dissescu – Meyer	-	-0,0017724	0,0004881	-	-	-	94,25	32,41
Hohenadl – Krenm	0,0072524	-0,003079	0,0005387	-	-	-	87,35	32,50
Berkhout	0,000122	2,4011684	-	-	-	-	87,5	32,31
<b>Husch</b>	<b>-9,31538</b>	<b>2,502191</b>	-	-	-	-	<b>95,58</b>	<b>32,45</b>
Brenac	-8,7083036	2,3166538	-1,559696	-	-	-	95,56	32,71
Spurr	0,0039643	6,43E-05	-	-	-	-	92,25	25,45
Shumacher y Hall	0,0001503	1,7718277	0,9121058	-	-	-	92,44	25,12
Honner	535,4946	11934,745	-	-	-	-	92,29	25,38
Ogaya	6,89E-05	5,50E-05	-	-	-	-	92,28	25,39
Takata	11938,758	196,05745	-	-	-	-	92,25	25,44
Stoate	-0,0108054	6,93E-05	4,74E-05	0,0041503	-	-	92,4	25,20
Naslund	-	2,82E-05	6,28E-05	-3,51E-05	0,0005639	-	96,49	25,31
<b>Spurr (log)</b>	<b>-9,23466</b>	<b>0,949993</b>	-	-	-	-	<b>97,41</b>	<b>25,25</b>
Meyer	0,0141843	-0,0061141	0,0003409	0,0012686	-7,99E-06	-0,0010941	92,33	25,31
Schumacher y Hall (log)	-9,20109	1,7779028	1,1303742	-	-	-	97,43	25,87

Destacados en negritas los mejores ajustes.

Los modelos de Husch y Brenac presentaron una mejor dispersión de los residuos, razón por la cual se seleccionó el modelo de Husch (Figura 2c) al poseer el menor error estándar residual (Tabla 6) si comparado con los otros modelos.

Los modelos volumétricos de doble entrada de Spurr log y Schumacher y Hall log para las estimaciones de volumen total sin corteza presentaron semejanzas en cuanto a la distribución gráfica de los residuos. Sin embargo, al comparar el error estándar residual de estos dos modelos, el de Spurr Log (Figura 2d) presentó un error estándar residual de 27,87% y el de Schumacher y Hall Log de 28,55% (Tabla 6), siendo el primero seleccionado como el mejor modelo. Scolforo et al. (2004) estudiando a la candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish) en el municipio de Aiuruoca, Minas Gerais, utilizaron el modelo de Schumacher y Hall, en su forma logaritimizada, para las ramas y el fuste, con y sin corteza, dado que los otros modelos tampoco mostraron tendencias para estimar el volumen. Ya Rufini et al. (2010) estudiando la volumetría de los árboles del Cerrado en tres regiones de la cuenca del río San Francisco, verificaron que los modelos que mejor se ajustaron fueron el Schumacher y Hall log y Spurr Log para estimar el volumen total y el volumen del fuste con y sin corteza.

### 3.2. Volumen de la corteza

Los modelos de simple entrada mostraron la tendencia a subestimar o sobrestimar el volumen de la corteza, excepto los modelos de Dissescu-Meyer, Hohenadl-Krenm y Husch que presentaron una dispersión residual mejor distribuida, siendo seleccionado el modelo Husch (Figura 2e) por presentar el mayor coeficiente de determinación (Tabla 7).

Mediante el análisis de la dispersión de los residuos, la mayoría de los modelos de doble entrada mostraron un comportamiento semejante y una buena distribución de los residuos, excepto en los modelos de Spurr y Naslund que mostraron una tendencia a sobrestimar, y en el modelo de Stoate con una tendencia a subestimar el volumen de los árboles en las clases de menor diámetro. Fue seleccionado el modelo de Spurr log generando la ecuación para estimar el volumen de la corteza para el barbatimão.

### 3.3. Relaciones hipsométricas

Analizando los gráficos de distribución de los residuos, se observó que no hubo diferencia expresiva entre los modelos evaluados. La dispersión para todos los modelos ajustados mostraron cierta tendencia a sobrestimar las alturas en las clases diamétricas entre

10 y 20 cm. El modelo que menos sobreestimó la altura fue el de Stofel (Figura 3).

El mismo modelo también fue el que presentó un menor error estándar residual, de 17,56% y el mayor coeficiente de determinación de 80,98% (Tabla 8), siendo este el modelo seleccionado para las estimativas de altura para el barbatimão.

### 3.4. Porcentaje de la corteza

El análisis de varianza mostró diferencia entre las clases diamétricas ( $F = 23,631$  y  $p < 0,01$ ,  $CV = 5,88\%$ ). La Figura 4 muestra el resultado de la comparación de las medias donde las barras verticales representan los valores medios del porcentaje de la corteza para

**Tabla 6.** Ecuaciones ajustadas de simple y doble entrada para el volumen total sin corteza.

**Table 6.** Adjusted equations of single and double entry for the total volume without bark.

MODELO	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj}$	$S_{yx} \%$
Kopezky – Gehrhardt	-0,006456949	0,000251929	-	-	-	-	85,12	37,06
Dissescu – Meyer	-	-0,001402023	0,000311322	-	-	-	93,03	36,53
Hohenadl – Krenm	0,00727222	-0,002712211	0,00036208	-	-	-	85,54	36,54
Berkhout	0,00004590	2,561650075	-	-	-	-	85,74	36,29
<b>Husch</b>	<b>-10,2536197</b>	<b>2,646696934</b>	-	-	-	-	<b>95,23</b>	<b>36,44</b>
Brenac	-9,49185736	2,413882415	-1,957125944	-	-	-	95,22	36,88
Spurr	0,00073308	0,000039500	-	-	-	-	91,63	27,80
Shumacher y Hall	0,00006020	1,833967855	1,037010786	-	-	-	91,63	27,80
Honner	-598,986695	28529,98058	-	-	-	-	91,34	28,27
Ogaya	0,000005660	0,00003900	-	-	-	-	91,61	27,83
Takata	26072,10192	-7,82540013	-	-	-	-	91,36	28,24
Stoate	-0,00535802	0,000007850	0,00003510	0,00198298	-	-	91,59	27,86
Naslund	-	-0,00001260	0,00004240	0,00001580	0,0002570	-	95,92	27,93
<b>Spurr (log)</b>	<b>-10,1745813</b>	<b>1,005891616</b>	-	-	-	-	<b>97,25</b>	<b>27,87</b>
Meyer	0,009949046	-0,004231116	0,000204027	0,00074396	0,000000269	-0,00032	91,54	27,95
Schumacher y Hall (log)	-10,1249652	1,831349932	1,27248659	-	-	-	97,32	28,55

Destacados en negritas los mejores ajustes.

**Tabla 7.** Ecuaciones ajustadas de simple y doble entrada para el volumen de la corteza.

**Table 7.** Adjusted equations of single and double entry for the volume of the bark.

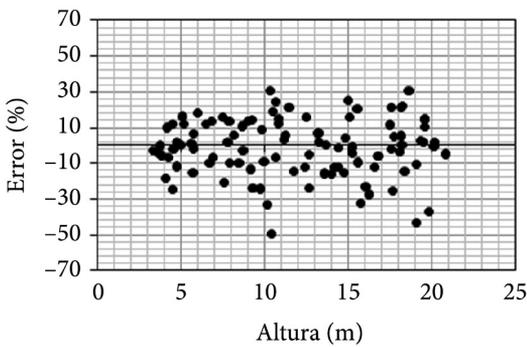
MODELO	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj} \%$	$S_{yx} \%$
Kopezky – Gehrhardt	-0,001876527	0,000161711	-	-	-	-	89,15	28,14
Dissescu – Meyer	-	-0,000370365	0,000176746	-	-	-	95,41	28,11
Hohenadl – Krenm	-1,98569E-05	-0,000366787	0,000176607	-	-	-	89,07	28,25
Berkhout	9,15384E-05	2,184418041	-	-	-	-	89,16	28,13
<b>Husch</b>	<b>-9,723026443</b>	<b>2,331935236</b>	-	-	-	-	<b>95,77</b>	<b>28,34</b>
Brenac	-9,07397170	2,133567102	-1,667556736	-	-	-	95,77	28,41
Spurr	0,003231248	2,47857E-05	-	-	-	-	91,76	24,53
Schumacher y Hall	0,000105304	1,690608863	0,730182092	-	-	-	92,69	23,11
Honner	3230,811348	18234,44439	-	-	-	-	92,26	23,77
Ogaya	0,000063258	0,000016100	-	-	-	-	92,23	23,82
Takata	20768,99474	972,2100902	-	-	-	-	92,18	23,90
Stoate	-0,005447405	6,15005E-05	1,23009E-05	0,002167364	-	-	92,61	23,23
Naslund	-	4,08443E-05	2,04076E-05	-1,9386E-05	0,000307025	-	96,81	23,44
<b>Spurr (Log)</b>	<b>-9,638646391</b>	<b>0,883857856</b>	-	-	-	-	<b>97,27</b>	<b>23,68</b>
Meyer	0,004235276	-0,001882947	0,000136828	0,000524687	-0,000000772	-0,000778	92,52	23,37
Schumacher Hall (log)	-9,627738412	1,728047896	0,942468106	-	-	-	97,25	24,04

Destacados en negritas los mejores ajustes.

**Tabla 8.** Ecuaciones ajustadas para altura.  
**Table 8.** Equations adjusted for height.

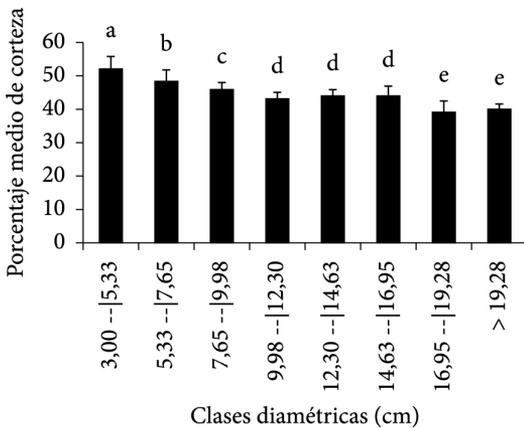
MODELO	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub> %	S <sub>yx</sub> %
*	1,402965529	0,24917924	-	73,82	17,66
Trorey	0,954795825	0,341993244	-0,003898785	73,91	17,63
<b>Stofel</b>	<b>-0,10110478</b>	<b>0,640750956</b>	-	<b>80,98</b>	<b>17,56</b>
Curtis	1,968095904	-5,135240787	-	77,67	19,07
Prodan	-2,121778731	2,083035134	0,062216703	73,9	17,63
Petterson	0,501406717	1,12175589	-	71,35	18,47

\*modelo citado por: Azevedo et al. (1999), Bartoszeck et al. (2002), Campos & Leite (2002), Scolforo (2005); Destacados en negritas los mejores ajustes.



**Figura 3.** Residuos porcentuales en relación con la altura, modelo de Stofel.

**Figure 3.** Residue percentage in relation to height, of Stofel model.



**Figura 4.** Resultado del test de medias para el porcentaje de corteza. Las medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí por el test de Scott Knott al 5% de probabilidad.

**Figure 4.** The test result of averages for the percentage of bark. Means followed by the same letter do not differ by Scott Knott test at 5% probability.

cada clase diamétrica. Las diferencias pueden ser analizadas a partir de las letras que acompañan a las barras verticales de la figura.

Se observa que los especímenes de las primeras clases diamétricas (Clases 1, 2 y 3) presentaron un mayor porcentaje de corteza que las clases superiores (Clases 4, 5, 6, 7 y 8) diferenciándose estadísticamente entre ellos. Ya las clases 4, 5 y 6 no difieren entre sí, sin embargo difieren de las demás; al igual que las clases 7 y 8 que no difieren estadísticamente entre sí, pero si difieren de las demás. Este resultado corrobora lo verificado por Rufini et al. (2010), en tres regiones de la cuenca del río São Francisco en las menores clases diamétricas se presenta un mayor porcentaje de la corteza para árboles del Cerrado, y por Thompson (2009), que estudiando la *Sclerolobium paniculatum* Vogel (carvoeiro) encontró un mayor porcentaje de corteza en las menores clases diamétricas. Esto indica que las opciones de gestión sostenida de esta especie a partir de cortes selectivos puede hacerse removiendo un mayor número de especímenes en las menores clases diamétricas pues estas poseen un mayor porcentaje de corteza y un mayor número de especímenes. Sin embargo, la retirada de esos especímenes si no está bien planificada, si no se mantiene el bosque bien distribuido, puede provocar un impacto negativo en el bosque remanente por desequilibrar el número de especímenes entre las clases al reducir el ingreso de especímenes pequeños a las clases superiores.

#### 4. CONCLUSIÓN

Los mejores ajustes de los modelos de simple y doble entrada para el volumen total con corteza, el volumen total sin corteza y el volumen total de la corteza se obtuvieron a partir de los modelos de Husch y Spurr en su logaritimizada, respectivamente. En cuanto a las estimaciones de la altura, el mejor modelo fue el de Stofel.

Este estudio también permitió verificar que hay una mayor proporción de la corteza en los árboles menores y que ésta disminuye con el aumento del diámetro.

## ESTADO DE LA SUMISIÓN

Recibido: 10 abr., 2014

Aceptado: 8 jun., 2015

## \*AUTOR(ES) PARA LA CORRESPONDENCIA

### Aldenir Teixeira da Gama

Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Avenida Universitária, 1000, Bairro Universitário, CEP 39404-547, Montes Claros, MG, Brasil  
e-mail: aldenirgama@hotmail.com

## REFERENCIAS

- Azevedo CP, Muroya K, Garcia LC, Lima RMB, Moura JB, Neves EJM. Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia Ocidental. *Boletim de Pesquisa Florestal* 1999; 39(1): 5-29.
- Bartoszeck ACPS, Machado AS, Figueiredo A Fo, Oliveira EB. Modelagem da relação hipsométrica para bracatingais da região metropolitana de Curitiba- PR. *Revista Floresta* 2002; 32(2): 189-204.
- Borges HC Fo, Felfili JM. Avaliação dos níveis de extrativismo da casca de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville) no Distrito Federal, Brasil. *Revista Árvore* 2003; 27(5): 735-745. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000500016>.
- Campos JCC, Leite HG. *Mensuração florestal: perguntas e respostas*. Viçosa: UFV; 2002.
- Endress BA, Gorchov DL, Berry EJ. Sustainability of a non-timber forest product; effects of alternative leaf harvest practices over 6 years on yield and demography of the palm *Chamaedorea radicalis*. *Forest Ecology and Management* 2006; 234(1): 181-191. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2006.07.020>.
- Kirby KR, Potvin C. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management* 2007; 246(1): 208-221. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.072>.
- Klink AC, Machado RB. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade* 2005; 1(1): 147-155.
- Marques MCM, Joly CA. Estrutura e dinâmica de uma população de *Calophyllum brasiliense* Camb. em floresta higrófila do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica. Brazilian Journal of Botany* 2000; 23(1): 160-171. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042000000100012>.
- Mello JM, Oliveira-filho AT, Scolforo JRS. Comparação entre procedimentos de amostragem para avaliação estrutural de um remanescente de floresta estacional semidecidual montana. *Cerne* 1996; 2(2): 1-14.
- Mittermeier RA, Gil PR, Hoffman M, Pilgrim J, Brooks T, Mittermeier CG et al. *Hotspots Revisited: earth's biologically richest and most endangered ecoregions*. Mexico City: Conservation International; 2005.
- Perez JFM, Scolforo JRS, Oliveira AD, Mello JM, Borges LFR, Camolesi JF. Sistema de manejo para a candeia-*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish: a opção do sistema de corte seletivo. *Cerne* 2004; 10(2): 257-273.
- Rufini AL, Scolforo JRS, Oliveira AD, Mello JM. Equações volumétricas para o Cerrado *sensu stricto*, em Minas Gerais. *Cerne* 2010; 16(1): 1-11. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602010000100001>.
- Scolforo JRS, Perez JFM, Mello JM, Oliveira AD, Camolesi JF, Borges LFR et al. Estimativas de volume, peso seco, peso de óleo e moirões para a candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish). *Cerne* 2004; 10(1): 87-102.
- Scolforo JRS, Thiersch CR. *Biometria florestal: medição, volumetria e gravimetria*. Lavras: UFLA; FAEPE; 2004.
- Scolforo, JRS. *Biometria florestal*. Lavras: UFLA; FAEPE; 2005.
- Spiegel MP. *Estatística*. São Paulo: McGraw-Hill; 1976.
- Thomas C, Andrade CM, Schneider PR, Finger CAG. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciência Florestal* 2006; 16(3): 319-327.
- Thompson RM. *Estimativas volumétricas, biomassa e carbono para o carvoeiro (Sclerolobium paniculatum Vog. Var. subvelutinum Benth [dissertação]*. Brasília: Universidade de Brasília; 2009.