

Modelos estatísticos para descrever o perfil do tronco do clone GG100 no Tocantins, Brasil

Statistical models to describe trunk profile of clone GG100 in Tocantins, Brazil

David Lucas Camargo Vieira Terra e Valdir Carlos Lima de Andrade*

Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, Brasil. *Autor para correspondência: vclandrade@uft.edu.br.

Submissão: 28/06/2018 | Aceite: 01/07/2019

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o ajuste de modelos de taper com e sem casca para o clone GG100 em um plantio comercial localizado no sul do estado do Tocantins. Foram cubadas 25 árvores em cujos dados se ajustou cinco modelos de taper, sendo três representando os mais utilizados no Brasil e dois representando os modelos pouco testados no país. Na avaliação dos modelos de taper, adotou-se os critérios estatísticos: erro padrão da estimativa, coeficiente de determinação ajustado, desvio médio, soma de quadrados do resíduo relativo, resíduo percentual e análise da distribuição de resíduos. Concluiu-se por um modelo do tipo expoente-forma para descrever o perfil do tronco com e sem casca de árvores individuais do clone GG100.

PALAVRAS-CHAVE: inventário florestal, dendrometria, taper.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the adjustment of taper models with and without bark for clone GG100 in a commercial plantation located in the southern state of Tocantins. Twenty-five trees were cubed in which data were fitted five taper models, three of which were the most used in Brazil and two representing the poorly tested models in the country. In the evaluation of the taper models, the following statistical criteria were adopted: standard error of the estimate, adjusted coefficient of determination, mean deviation, sum of squares of the relative residue, percentage residue, and analysis of the distribution of residues. It was concluded by an exponent-shape type model to describe the trunk profile with and without bark of individual clones of clone GG100.

KEYWORDS: forest inventory, dendrometry, taper.

INTRODUÇÃO

O eucalipto, introduzido no Brasil no início do século XX, inicialmente, atendeu as demandas de dormentes e produção de energia para as locomotivas da Companhia Paulista de Estradas de Ferro. Ao longo do tempo, houveram muitas pesquisas que indicaram a sua madeira ser adequada também para painéis de madeira, serraria, celulose, papel, óleos essenciais, mourões, dentre outros usos (BRITO & BARRICHELO 1977, VITAL et al. 1994, VITTI & BRITO 1999, GOMIDE et al. 2010, ANJOS & FONTE 2017, PEREIRA et al. 2017). Isso, aliado as leis de incentivos fiscais e ao ciclo de curta rotação com alta produtividade, impulsionou a área plantada com eucalipto no país, chegando há cerca de 5,6 milhões de hectares e em 116 mil ha no estado do Tocantins (IBÁ 2017).

Diante disso, mesmo sendo recente a introdução do eucalipto no Tocantins, é de grande importância delinear estratégias de manejo para melhor balizar a produção dos diferentes usos madeireiros nos plantios comerciais, por exemplo, serraria, energia, mourões, estacas para construção civil, dentre muitos outros. Isso depende do emprego de equações de taper, porque permitem quantificar o volume comercial da madeira e, ou, número de toras para diferentes usos e comprimentos de toragens. Tais equações, geradas a partir de diferentes modelos estatísticos utilizando-se dados de cubagem rigorosa, são denominadas de equações de taper, ou, de afilamento, ou, de perfil do tronco (ANDRADE 2014).

Neste contexto, muitos modelos já foram testados no Brasil para gerar equações de taper, onde se notam predominância dos modelos de DEMAERSCHALK (1973), HRADETZKY (1976) e de SCHÖEPFER

(1966), cabendo citar: CAMPOS et al. (2014), MENDONÇA et al. (2014), MÜLLER et al. (2014) e RIBEIRO & ANDRADE (2016). Também, conforme ANDRADE (2014), SCHRÖDER et al. (2015), ANDRADE et al. (2016) e COSTA et al. (2016), se notam que existem alguns modelos de taper com grande potencial para aplicação em plantios florestais brasileiros, como os modelos do tipo expoente-forma de KOZAK (1988) e KOZAK (2004).

Diante desse contexto e, dada à ausência de estudos sobre modelos de taper em plantios no estado do Tocantins, se evidencia que é necessário avaliar modelos de taper em plantios florestais neste importante estado da federação, cabendo ainda, verificar a aplicação de modelos do tipo expoente-forma. Nesse caso, para quantificar o tronco com e sem a casca, usualmente são geradas duas equações, sendo uma para cada situação. Portanto, vê-se uma oportunidade para se testar a metodologia em que se possibilita gerar uma única equação para ambas situações com e sem a casca do tronco. Trata-se do emprego da variável binária $T_x=0$ para o tronco com casca e $T_x=1$ para o tronco sem a casca no mesmo ajuste (CAMPOS & LEITE 2013).

Por isso, dado a importância desta metodologia com aplicação da variável binária T_x e ao fato de serem escassos os trabalhos com este enfoque no Brasil, especialmente, no estado do Tocantins, realizou-se o presente estudo em um plantio de eucalipto localizado na região sul deste estado da federação para descrever o perfil do tronco com e sem casca de árvores individuais empregando-se uma mesma equação de taper.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados do clone GG100, que é um híbrido de *Eucalyptus urophylla* com *Eucalyptus grandis*. O plantio, feito no espaçamento de 6 m x 1,5 m, tinha cerca de 3 anos na época da coleta dos dados e se localiza na região sul do estado do Tocantins, próximo ao município de Gurupi. No referido plantio, foram cubadas 25 árvores divididas em cinco classes de diâmetro tendo amplitude de 2 cm cada, em cujas árvores se mediu o diâmetro com e sem casca ao longo do tronco nas posições: 0,20 m, 0,40 m, 0,70 m, 1,30 m, 2,70 m e, sucessivamente, de 2 em 2 metros até um diâmetro em torno de 3 cm com casca.

Tomando-se como base a literatura sobre taper (LEITE et al. 2011, FAVALESSA et al. 2012, MÜLLER et al. 2014 e FIGUEIREDO FILHO et al. 2015) selecionou-se os modelos mais difundidos no Brasil (ANDRADE 2014), são eles: modelos de SCHÖEPFER (1966), DEMAERSCHALK (1973) e HRADETSKY (1976). Além desses modelos, foram incluídos os modelos de taper expoente-forma de KOZAK (1988) e KOZAK (2004). Portanto, os cinco modelos de taper, avaliados nesse trabalho, são os seguintes:

$$\left(\frac{d}{D}\right) = (10)^{\beta_0(D)^{\beta_1-1}} (L)^{\beta_2} (H)^{\beta_3} + \varepsilon \quad \text{DEMAERSCHALK (1973)} \quad (1)$$

$$\left(\frac{d}{D}\right) = [\beta_0 + \beta_1(z) + \beta_2(z)^2 + \beta_3(z)^3 + \beta_4(z)^4 + \beta_5(z)^5] + \varepsilon \quad \text{SCHÖEPFER (1966)} \quad (2)$$

$$\left(\frac{d}{D}\right) = \beta_0 + \beta_1(z)^{p_1} + \beta_2(z)^{p_2} + \dots + \beta_n(z)^{p_n} + \varepsilon \quad \text{HRADETSKY (1976)} \quad (3)$$

$$(d) = \beta_0 D^{\beta_1} \beta_2^D \left[\frac{(1-\sqrt{z})}{(1-\sqrt{P})} \right]^{\left[\beta_3(z)^2 + \beta_4 \ln(z+0,001) + \beta_5 \sqrt{z} + \beta_6 z^2 + \beta_7 \left(\frac{D}{H}\right) \right]} + \varepsilon \quad \text{KOZAK (1988)} \quad (4)$$

$$(d) = \beta_0 D^{\beta_1} H^{\beta_2} [X] \left\{ \beta_3(z)^4 + \beta_4 \left[\frac{z}{\exp\left(\frac{D}{H}\right)} \right] + \beta_5 [X]^{0,1} + \beta_6 \left(\frac{z}{D}\right) + \beta_7 H \left[1 - (z)^{\left(\frac{z}{H}\right)} \right] + \beta_8 [X] \right\} + \varepsilon \quad \text{KOZAK (2004)} \quad (5)$$

Em que: d = diâmetro na altura h ao longo do tronco das árvores cubadas (cm), D = DAP(cm), H = altura total(m), h = altura no tronco onde se mediu d (m), $L = H - h$, $z = \left(\frac{h}{H}\right)$, $X = \frac{1-(z)^{\left(\frac{z}{H}\right)}}{1-p\left(\frac{z}{H}\right)}$, β_i = coeficientes de regressão à serem estimados, ε = erro aleatório do modelo, $p_1 \dots p_n$ = potências utilizadas no modelo de Hradetzky, os quais são: 0,005; 0,004; 0,003; 0,002; 0,001; 0,09; 0,08; 0,07; 0,06; 0,05; 0,04; 0,03; 0,02; 0,01; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20 e 25.

Para inferir, sobre o ajuste dos modelos de taper aos dados do clone GG100 no Tocantins, utilizou-se o erro padrão residual $s_{d;\hat{d}}$, o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e a análise da distribuição de resíduos, sendo empregados em todos os modelos os procedimentos estatísticos 6, 7 e 8:

$$R^2_{aj} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p}\right) \left(\frac{SQR}{SQT}\right) \quad (6)$$

$$s_{d,\hat{d}}(\text{cm}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d-\hat{d})^2}{n-k}} \quad (7)$$

$$s_{d,\hat{d}}(\%) = \left(\frac{s_{d,\hat{d}}}{\bar{d}}\right) 100 \quad (8)$$

Em que: \hat{d} = diâmetro estimado na altura h , \bar{d} = média aritmética de d , n = número de dados, k = número de coeficientes de regressão estimados, SQR = soma dos quadrados dos resíduos, SQT = soma de quadrados totais.

Após escolher um modelo de taper dentre os modelos 1, 2 e 3 (usuais no Brasil), por meio dos critérios 6 a 8, foi feita uma comparação com o melhor modelo expoente-forma (modelo 4 ou 5). Nessa oportunidade, conforme feito por TÊO et al. (2013), MENDONÇA et al. (2014), MÔRA et al. (2014), RIBEIRO & ANDRADE (2016), adotou-se os critérios: desvio absoluto médio (\bar{D}), desvio padrão das diferenças (DPD), soma dos quadrados dos resíduos relativos (SQRR) e resíduos percentuais (RP). Esses critérios estatísticos, empregadas nos dados agrupados por classe diamétrica, foram obtidas por:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n (d-\hat{d})}{n} \quad (9)$$

$$DPD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d-\hat{d})^2}{n-1}} \quad (10)$$

$$SQRR = \sum_{i=1}^n \left(\frac{d-\hat{d}}{d}\right)^2 \quad (11)$$

$$RP = \sum_{i=1}^n \left(\frac{d-\hat{d}}{d}\right) 100/n \quad (12)$$

Em que: \bar{D} = desvio absoluto médio, DPD = desvio padrão das diferenças, $SQRR$ = soma dos quadrados dos resíduos relativos, RP = resíduos percentuais, demais já definidos.

No uso dos critérios estatísticos \bar{D} , DPD , $SQRR$ e RP , foi elaborado um ranking para expressar o desempenho dos modelos dentro de cada classe diamétrica com e sem casca, sendo a nota 1 correspondente ao melhor resultado e a nota 2 para o pior. Nesse caso, o modelo de taper de melhor ajuste aos dados do clone GG100, foi definido como sendo aquele com a menor soma de notas. Este modelo, visando gerar uma única equação de taper, para quantificar tanto o diâmetro com casca como sem casca ao longo do tronco, foi ajustado aplicando-se a variável binária $T_x=0$ para diâmetro com casca e $T_x=1$ para diâmetro sem casca (CAMPOS & LEITE 2013). Nessa oportunidade, foram testadas as possibilidades:

$$\exp\left[\beta_1\left(\frac{T_x}{\bar{D}}\right)\right], \exp\left[\beta_1(T_x D)\right], \exp\left[\beta_1\left(T_x\left(\frac{D}{\bar{H}}\right)\right)\right], \exp\left[\beta_1(T_x(H-h))\right] \text{ e } \exp\left[\beta_1\left(T_x\left(1-\left(\frac{h}{\bar{H}}\right)\right)\right)\right]$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 observa-se que as 25 árvores do clone GG100 foram distribuídas em cinco classes de diâmetro, contendo cinco árvores em cada classe com amplitude de 2 cm. Também, pode-se observar por classe de diâmetro, a média, valores mínimo e máximo, altura e DAP. Já, na Tabela 2, são apresentados os resultados obtidos no ajuste dos modelos de taper para dados com e sem casca.

Tabela 1. Estatísticas descritivas das árvores cubadas do clone GG100 no Tocantins.

Table 1. Descriptive statistics of the cubed trees of clone GG100 in Tocantins.

Classe (cm)	\bar{d} (cm)		dmin (cm)		dmax (cm)		\bar{H} (m)	Hmin (m)	Hmax (m)
	CC	SC	CC	SC	CC	SC			
$D \leq 5,03$	3,75	3,40	2,29	5,61	6,21	2,09	6,74	8,00	5,60
$5,03 < D \leq 7,03$	6,15	5,58	9,01	8,21	3,18	2,88	10,17	11,00	9,60
$7,03 < D \leq 9,03$	7,63	6,97	13,05	11,75	3,85	3,45	12,95	15,98	10,60
$9,03 < D \leq 11,03$	8,58	7,94	13,37	12,37	3,66	3,42	15,68	15,80	15,50
$D > 11,03$	9,74	9,02	15,53	14,33	3,18	2,88	16,31	16,70	15,70

D =DAP, \bar{d} , dmin e dmax = valores médio, mínimo e máximo do diâmetro ao longo do tronco, \bar{H} , Hmin e Hmax = valores médio, mínimo e máximo da altura total, CC = com casca e SC = sem casca.

Tabela 2. Coeficientes de regressão estimados, erro padrão residual e coeficiente de determinação ajustado obtidos no ajuste de cinco modelos de taper com e sem casca para o clone GG100 no Tocantins.

Table 2. Estimated coefficients of regression, residual standard error, and adjusted determination coefficient obtained in the adjustment of five models of taper with and without bark for clone GG100 in Tocantins.

Estatísticas	Modelos de Taper Avaliados									
	1		2		3		4		5	
	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC
$\hat{\beta}_0$	-0,099	-0,16	1,33	1,215	22,93	21,444	0,322	0,109	0,961	0,5
$\hat{\beta}_1$	0,411	0,422	-4,633	-4,3	-21,991	-20,601	0,866	0,834	0,604	0,444
$\hat{\beta}_2$	0,837	0,819	21,923	21,181	-0,382	-0,302	1,016	1,026	0,678	0,96
$\hat{\beta}_3$	-0,191	-0,163	-56,689	-55,773	-0,569	-0,573	-1,069	-1,161	0,217	0,206
$\hat{\beta}_4$			67,116	66,545			0,009	0,0248	0,428	0,634
$\hat{\beta}_5$			-29,882	-29,693			-0,608	-0,694	0,386	0,255
$\hat{\beta}_6$							1,012	1,042	-0,589	-1,109
$\hat{\beta}_7$							-0,391	-0,267	0,181	0,193
$\hat{\beta}_8$									0,305	-0,361
$s_{d,\hat{d}}$	0,653	0,589	0,745	0,661	0,744	0,658	0,588	0,561	0,518	0,493
$s_{d,\hat{d}}\%$	8,60	8,44	9,81	9,46	9,80	9,42	7,74	8,03	6,82	7,06
R^2_{aj}	0,961	0,963	0,990	0,953	0,949	0,895	0,974	0,972	0,980	0,978

$\hat{\beta}_i$ = coeficientes de regressão estimados dos modelos 1 (DEMAERSCHALK 1975), 2 (SCHÖEPFER 1966), 3 (HRADETZKY 1976), 4 (KOZAK 1988) e 5 (KOZAK 2004), CC = com casca, SC = sem casca. Potências selecionadas pelo método stepwise para o modelo de HRADETZKY foram: $\hat{p}_1 = 0,004$; $\hat{p}_2 = 0,6$; $\hat{p}_3 = 3$, sdd = erro padrão residual e R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado.

Dentre os modelos usuais no Brasil, o modelo de DEMAERSCHALK (1973) foi o que obteve os melhores resultados com $s_{d,\hat{d}}$ sendo o menor. Já, o R^2_{aj} maior, foi para o modelo 2. No entanto, ao conciliar essas estatísticas com a distribuição de resíduos (Figura 1), nota-se que o modelo 1 apresentou uma dispersão mais estável e menos tendenciosa.

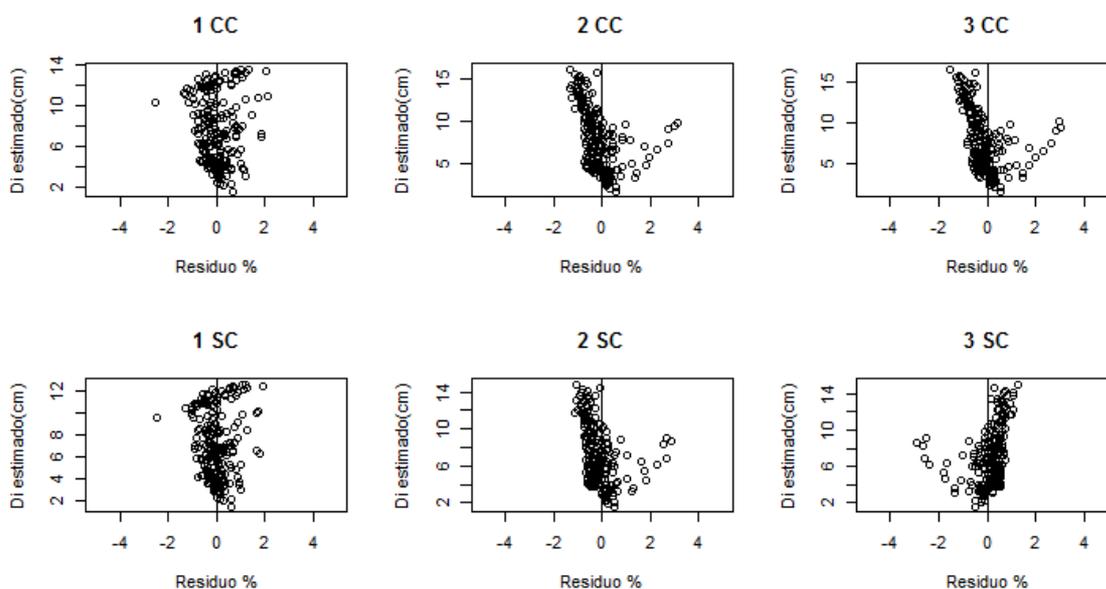


Figura 1. Distribuição de resíduos com casca (CC) e sem casca (SC) dos modelos de taper usuais no Brasil, modelos 1 (DEMAERSCHALK), 2 (SCHÖEPFER) e 3 (HRADETZKY), ajustados para o clone GG100 no sul do Tocantins.

Figure 1. Distribution of residues with bark (CC) and shelled (SC) of the usual taper models in Brazil, models 1 (DEMAERSCHALK), 2 (SCHÖEPFER), and 3 (HRADETZKY), adjusted for clone GG100 in the southern Tocantins.

Por outro lado, na comparação dentre os modelos expoente-forma (KOZAK 1988 e 2004), o modelo 5 apresentou melhores resultados de $s_{d;\hat{d}}$ e R^2_{aj} (Tabela 2), além de melhor distribuição de resíduos (Figura 2), tanto para o tronco com casca como para sem casca. Assim, diante da análise desses resultados, selecionou-se os modelos 1 e 5 para efeito de comparação entre um modelo usual no Brasil e outro sendo do tipo expoente-forma.

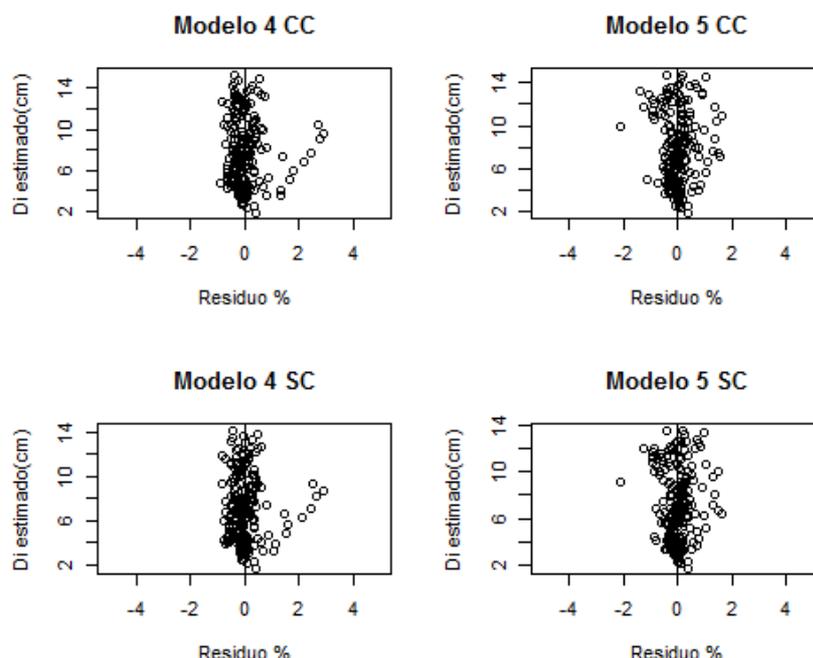


Figura 2. Distribuição de resíduos com casca (CC) e sem casca (SC) dos modelos de taper 4 (KOZAK 1988) e 5 (KOZAK 2004), ajustados para o clone GG100 no sul do Tocantins.

Figure 2. Distribution of residues with bark (CC) and shelled (SC) of taper models (KOZAK 1988) and 5 (KOZAK 2004), adjusted for clone GG100 in the southern Tocantins.

Ao analisar os resultados apresentados na Tabela 3, os quais foram obtidos por classe de diâmetro com emprego dos modelos 1 e 5, nota-se para diâmetro com casca que o modelo 5 apresentou melhores resultados no total das notas atribuídas para as classes 1, 3, 4 e 5 com um empate na classe 1. Já, para diâmetro do tronco sem casca, observa-se empate nas classes 1 e 3 se sobressaindo o modelo 5 nas demais classes. Portanto, por ter a menor somatória de notas, o modelo 5 (KOZAK 2004) apresentou o melhor ajuste aos dados do clone GG100 na área amostrada no estado do Tocantins. Como resultado final, foram geradas duas equações para obter o perfil do tronco com e sem casca:

$$\hat{d}_{cc} = 0,7876D^{0,4659} H^{0,5299} X^{-2,2796K2 + 1,0411K3 + 2,4866K4 - 0,0944K5 + 0,0159K6 - 1,1483X} \quad (13)$$

$$\hat{d}_{sc} = 0,6710D^{0,4749} H^{0,5539} X^{-1,6979K2 + 0,8477K3 + 1,9715K4 - 0,1486K5 + 0,0272K6 - 0,9448X} \quad (14)$$

Em que: \hat{d}_{cc} = diâmetro com casca estimado na altura h , \hat{d}_{sc} = diâmetro sem casca estimado na altura h , $K2 = (z)^4$, $K3 = \left[\frac{1}{\exp\left(\frac{D}{H}\right)} \right]$, $K4 = [X]^{0,1}$, $K5 = \left(\frac{1}{D}\right)$, $K6 = H \left[1 - (z) \left(\frac{1}{3}\right) \right]$.

Utilizando-se o banco de dados do clone GG100, ajustou-se o modelo 5 com a inclusão de diferentes formas da variável T_x a fim de estimar o diâmetro com e sem casca empregando-se a mesma equação gerada de taper. Como resultado, gerou-se as seguintes equações de taper com $T_x=0$ para o tronco com casca e $T_x=1$ para o tronco sem casca:

$$\hat{d} = 0,8595D^{0,4821} H^{0,5265} X^{-1,3003(K2) + 0,6539(K3) + 1,6248(K4) + 0,0778(K5) + 0,039(K6) - 0,8062(X)} e^{-0,7139\left(\frac{T_x}{D}\right)};$$

$$R^2_{aj}=0,998 \text{ e } s_{d;\hat{d}}=7,02\% \quad (15).$$

$$\hat{d} = 0,7275D^{0,5012} H^{0,5303} X^{-1,2262(K2) + 0,6188(K3) + 1,5669(K4) + 0,079(K5) + 0,0408(K6) - 0,7816(X)} e^{-0,0077(T_x D)};$$

$$R^2_{aj}=0,998 \text{ e } s_{d;\hat{d}}=7,09\% \quad (16)$$

$$\hat{d} = 0,7811D^{0,5016} H^{0,5042} X^{[-1,31(K2)+0,6545(K3)+1,6393(K4)+0,0556(K5)+0,0382(K6)-0,8089(X)]} e^{[-0,1212\left(Tx\left(\frac{D}{H}\right)\right)]},$$

$$R^2_{aj}=0,998 \text{ e } s_{d;\hat{d}}=6,98\% \quad (17)$$

$$\hat{d} = 0,6979D^{0,4722} H^{0,5705} X^{[-2,052(K2)+0,965(K3)+2,3148(K4)-0,223(K5)+0,0195(K6)-1,077(X)]} e^{[-0,0064\left(Tx(H-h)\right)]},$$

$$R^2_{aj}=0,998 \text{ e } s_{d;\hat{d}}=6,99\% \quad (18)$$

$$\hat{d} = 0,7563D^{0,4726} H^{0,5407} X^{[-2,158(K2)+1,004(K3)+2,402(K4)-0,175(K5)+0,016(K6)-1,111(X)]} e^{[-0,0989\left(Tx\left(1-\left(\frac{h}{H}\right)\right)\right)]},$$

$$R^2_{aj}=0,998 \text{ e } s_{d;\hat{d}}=6,90\% \quad (19)$$

Tabela 3. Resultados obtidos por classe diamétrica dos critérios: desvio absoluto médio (\bar{D}), desvio padrão das diferenças (DPD), soma dos quadrados dos resíduos relativos (SQRR) e resíduos percentuais (RP) empregando-se os modelos 1 (DEMAERSCHALK) e 5 (KOZAK 2004).

Table 3. Results obtained by diametric class of the criteria: mean absolute deviation (\bar{D}), standard deviation of differences (DPD), the sum of squares of relative residues (SQRR), and percent residuals (RP) using models 1 (DEMAERSCHALK) and 5 (KOZAK 2004).

	Modelo	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	SG
		Perfil do tronco com casca					
\bar{D}	1	0,017 ⁽¹⁾	0,026 ⁽¹⁾	0,239 ⁽¹⁾	0,380 ⁽²⁾	0,204 ⁽²⁾	
	5	0,065 ⁽²⁾	0,052 ⁽²⁾	0,245 ⁽²⁾	0,356 ⁽¹⁾	0,203 ⁽¹⁾	
DPD	1	0,019 ⁽²⁾	0,016 ⁽²⁾	0,018 ⁽²⁾	0,010 ⁽²⁾	0,008 ⁽²⁾	
	5	0,016 ⁽¹⁾	0,012 ⁽¹⁾	0,014 ⁽¹⁾	0,008 ⁽¹⁾	0,006 ⁽¹⁾	
SQRR	1	0,304 ⁽²⁾	0,290 ⁽²⁾	0,556 ⁽²⁾	0,248 ⁽²⁾	0,162 ⁽²⁾	
	5	0,217 ⁽¹⁾	0,152 ⁽¹⁾	0,340 ⁽¹⁾	0,137 ⁽¹⁾	0,097 ⁽¹⁾	
RP	1	-0,002 ⁽¹⁾	-1,047 ⁽²⁾	2,793 ⁽²⁾	-4,173 ⁽²⁾	2,364 ⁽²⁾	
	5	-1,487 ⁽²⁾	-0,303 ⁽¹⁾	2,716 ⁽¹⁾	-3,949 ⁽¹⁾	0,389 ⁽¹⁾	
SN	1	6	7	7	8	8	36
	5	6	5	5	4	4	24
Perfil do tronco sem casca							
\bar{D}	1	0,006 ⁽¹⁾	0,005 ⁽¹⁾	0,189 ⁽¹⁾	0,329 ⁽²⁾	0,192 ⁽²⁾	
	5	0,025 ⁽²⁾	0,033 ⁽²⁾	0,204 ⁽²⁾	0,316 ⁽¹⁾	0,124 ⁽¹⁾	
DPD	1	0,020 ⁽²⁾	0,017 ⁽²⁾	0,018 ⁽²⁾	0,009 ⁽²⁾	0,007 ⁽²⁾	
	5	0,017 ⁽¹⁾	0,013 ⁽¹⁾	0,015 ⁽¹⁾	0,007 ⁽¹⁾	0,006 ⁽¹⁾	
SQRR	1	0,347 ⁽²⁾	0,312 ⁽²⁾	0,557 ⁽²⁾	0,205 ⁽²⁾	0,119 ⁽²⁾	
	5	0,245 ⁽¹⁾	0,198 ⁽¹⁾	0,383 ⁽¹⁾	0,132 ⁽¹⁾	0,096 ⁽¹⁾	
RP	1	0,290 ⁽¹⁾	-1,508 ⁽²⁾	2,235 ⁽¹⁾	-3,889 ⁽²⁾	1,967 ⁽²⁾	
	5	-0,592 ⁽²⁾	-0,635 ⁽¹⁾	2,298 ⁽²⁾	-3,687 ⁽¹⁾	0,300 ⁽¹⁾	
SN	1	6	7	6	8	8	35
	5	6	5	6	4	4	25

Classe 1 a 5 = classes de DAP conforme a Tabela 1, valores dos expoentes em parênteses são notas de cada modelo, SN = somatório de notas e SG = soma das notas geral.

Ao analisar as estatísticas de ajuste, juntamente com o gráfico de distribuição dos resíduos (Figura 3), nota-se que houve uma dispersão aproximadamente igual para ambas equações, difícil assim escolher a equação com melhor dispersão residual. Já, quanto ao R^2_{aj} e $s_{d;\hat{d}}$, nota-se que R^2_{aj} foi igual com valor de 0,998 para ambas equações e $s_{d;\hat{d}}$ variou entre 6,90% a 7,09%, resultando em ótimo ajuste para todas as formas de inclusão da variável Tx no modelo de KOZAK (2004). Para seleção de apenas uma forma da variável Tx, à ser confrontada com modelo sem o uso da mesma (equações 13 e 14), optou-se pela equação 19 que apresentou o menor valor de $s_{d;\hat{d}}$.

Na Tabela 4 são apresentadas as estatísticas do modelo 5 (KOZAK 2004) com e sem o uso da variável binária Tx, equações 13 e 14 comparadas à equação 19. Nota-se, que para o tronco com casca (equação 13 versus a equação 19 com Tx=0), que houve um somatório igual de notas (6 pontos) e, para o tronco sem casca (equação 14 versus a equação 19 com Tx=1), houve uma inexpressiva superioridade da equação 13 (5 contra 7 pontos). Já, na análise da distribuição de resíduos (Figura 2 versus 3), constata-se que apresentam dispersões aproximadamente iguais. Portanto, o fato da variável Tx permitir um único

ajuste para obter diâmetros do tronco com e sem casca, favorece o uso do modelo de KOZAK (2004) conforme a forma funcional de ajuste da equação 19.

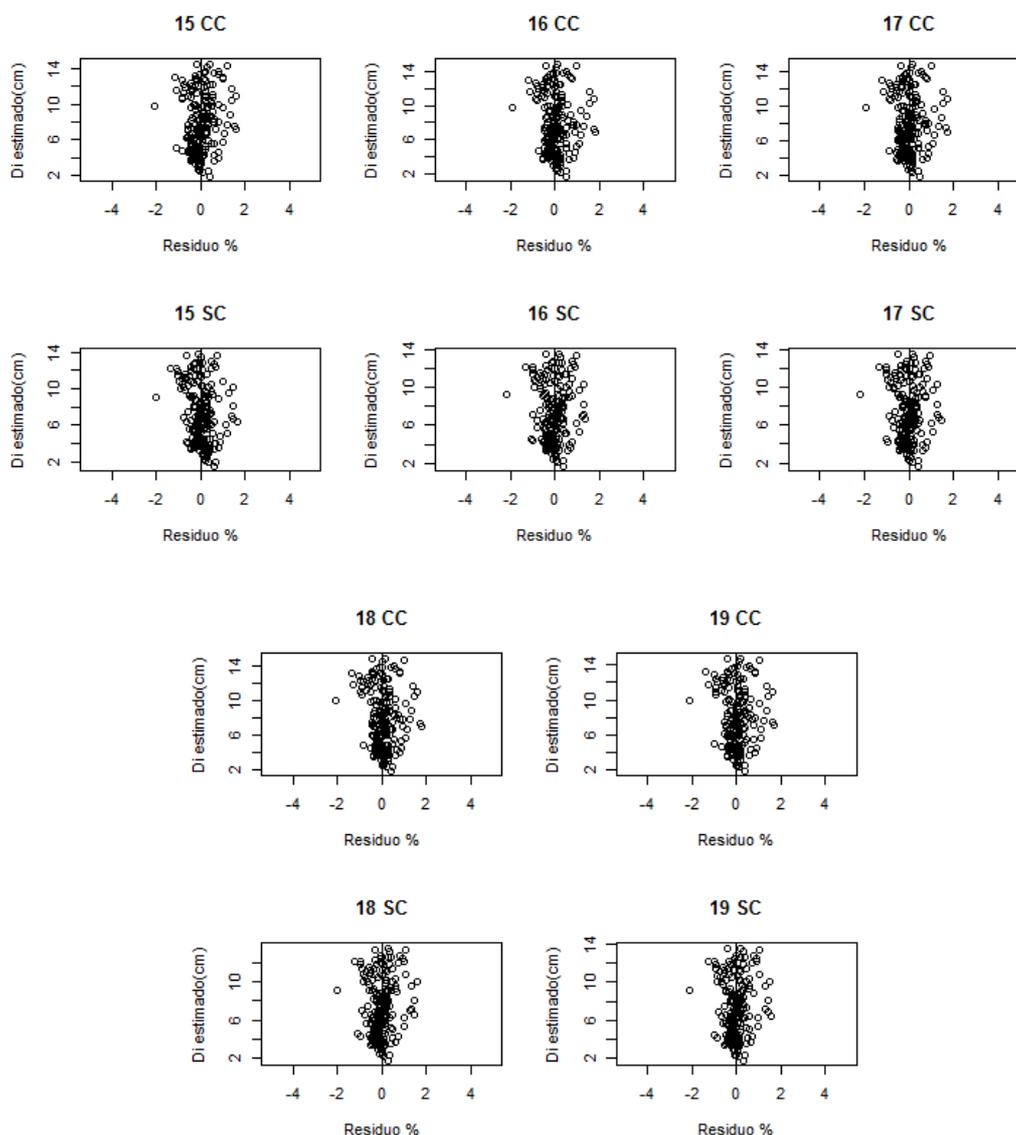


Figura 3. Distribuição de resíduos com casca (CC) e sem casca (SC) do modelo de KOZAK (2004) aplicando a variável binária Tx com diferentes tipos de ajustes, onde 15 a 19 referem-se as equações de taper obtidas aplicando Tx.

Figure 3. Distribution of residues with bark (CC) and shelled (SC) of the KOZAK model (2004) applying the variable Tx binary with different types of adjustments, where 15 to 19 refer to the taper equations obtained by applying Tx.

Tabela 4. Resultados obtidos dos critérios: desvio absoluto médio (\bar{D}), desvio padrão das diferenças (DPD), soma dos quadrados dos resíduos relativos (SQRR) e resíduos percentuais (RP) empregando-se as equações 13, 14 e 19.

Table 4. Results obtained from the criteria: mean absolute deviation (\bar{D}), standard deviation of differences (DPD), sum of squares of relative residuals (SQRR), and percent residuals (RP) using equations 13, 14 and 19.

Equação	\bar{D}	DPD	SQRR	RP	Somatório
Com Casca					
13	-0,003 ¹	0,0045 ¹	0,943 ²	-0,56 ²	6
19 (TX=0)	0,014 ²	0,0046 ²	0,917 ¹	-0,11 ¹	6
Sem Casca					
14	-0,001 ¹	0,0051 ²	1,054 ¹	-0,53 ¹	5
19 (TX=1)	-0,011 ²	0,0050 ¹	1,086 ²	-1,05 ²	7

Diante do resultado obtido pela análise com aplicação da variável Tx, pode-se verificar uma importante contribuição deste estudo não só aos plantios com o clone GG100 no Tocantins, mas também, para outros tipos de plantios florestais no Brasil. Isso se permite, porque se utiliza de uma única equação de taper para quantificar tanto o volume de madeira com casca bem como de madeira sem a casca para diferentes usos madeireiros. Também, por se tratar do modelo de KOZAK (2004), que apresentou um nível de ajuste bem superior aos modelos de taper ainda usuais no país, evidencia-se chances de haver melhorias no nível de confiabilidade da quantificação da distribuição dos diferentes usos da madeira em povoamentos florestais brasileiros.

CONCLUSÃO

Dentre os modelos usuais no Brasil, o melhor ajuste para o clone GG100 no Tocantins, foi obtido pelo modelo de DEMAERSCHALK (1973).

O modelo de taper de melhor ajuste aos dados do clone GG100 foi o de KOZAK (2004), permitindo obter uma única equação para quantificar tanto o tronco com casca como o tronco sem casca de árvores individuais. Por isso, para o clone GG100 na área amostrada no sul do Tocantins, concluiu-se pela seguinte equação de taper:

$$\hat{d} = 0,7563D^{0,4726}H^{0,5407}X^{[-2,158(K2)+1,004(K3)+2,402(K4)-0,175(K5)+0,016(K6)-1,111(X)]}e^{\left[-0,0989\left(Tx\left(1-\left(\frac{h}{H}\right)\right)\right)\right]}$$

REFERÊNCIAS

- ANDRADE VCL. 2014. Modelos de taper do tipo expoente-forma para descrever o perfil do fuste de árvores. Pesquisa Florestal Brasileira 34: 271-283.
- ANDRADE VCL et al. 2016. Perfil do fuste de *Anadenanthera peregrina* descrito pelo método da altura relativa. Ciência Florestal 26: 875-887.
- ANJOS RAM & FONTE APN. 2017. Rendimento de madeira serrada de espécies de *Eucalyptus*. Revista de Ciências Agroveterinárias 16: 26-32.
- BRITO JO & BARRICHELO LEG. 1977. Correlação entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: densidade e o teor de lignina da madeira de eucalipto. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais 14: 9-20.
- CAMPOS JCC & LEITE HG. 2013. Mensuração florestal: perguntas e respostas. 4.ed. Viçosa: UFV. 605p.
- CAMPOS BPF et al. 2014. Efeito do modelo de afilamento utilizado sobre a conversão de fustes de árvores em multiprodutos. Scientia Forestalis 42: 513-520.
- COSTA EA et al. 2016. Função de afilamento e sortimentos de madeira para *Araucaria angustifolia*. Ciência Florestal 26: 523-533.
- DEMAERSCHALK JP. 1973. Integrated systems for the estimation of tree taper and volume. Canadian Journal of Forest Research 3: 90-94.
- FAVALESSA CM et al. 2012. Equações de sortimentos para *Tectona grandis* na região centro-sul de Mato Grosso. Pesquisa Florestal Brasileira 32: 389-399.
- FIGUEIREDO FILHO A et al. 2015. Efeito da idade no afilamento e sortimento em povoamentos de *Araucaria angustifolia*. Floresta e Ambiente 22: 50-59.
- GOMIDE JL et al. 2010. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. Revista Árvore 34: 339-344.
- HRADETZKY J. 1976. Analyse und interpretation statistis herabrängerkeiten. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs-und Forschng sanstalt Baden-Wüettemberg. Heft Nr.
- IBÁ. 2017. Indústria Brasileira de Árvores 2017: ano base 2016. Brasília: IBÁ. 80p.
- KOZAK A. 1988. A variable-exponent taper equation. Canadian Journal of Forest Research 18: 1363-1368.
- KOZAK A. 2004. My last words on taper equations. The Forestry Chronicle 80: 507-514.
- LEITE HG et al. 2011. O. Modelo de taper de cerne de *Tectona grandis* L.f. Scientia Forestalis 39: 53-59.
- MENDONÇA AR et al. 2014. Modelagem da produção de sortimentos em povoamentos de eucalipto. Cerne 20: 587-594.
- MÔRA R et al. 2014. Análise de diferentes formas de ajuste de funções de afilamento. Scientia Forestalis 42: 237-249.
- MÜLLER MD et al. 2014. Equações de altura, volume e afilamento para eucalipto e acácia estabelecidos em sistema silvipastoril. Floresta 44: 473-484.
- PEREIRA GF et al. 2017. Painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus badjensis* e Pinus spp. Scientia Forestalis 45: 373-382.
- RIBEIRO JR & ANDRADE VCL. 2016. Equações de Perfil do Tronco para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh no Centro-sul Tocantinense. Floresta e Ambiente 23: 534-543.
- SCHÖEPFER W. 1966. Automatisierung des massen, sorten und wertberechnung stenender waldbestande schriftenreihe Bad. Wurt-Forstl. No page.
- SCHRÖDER T et al. 2015. Taper Equations for Pinus elliottii Engelm. in Southern Paraná, Brazil. Forest Science 61:

311-319.

TÉO SJ et al. 2013. Modelos de afilamento para *Pinus elliottii* em diferentes idades, na região de Caçador, SC. Floresta 43: 439-452.

VITAL BR et al. 1994. Características de crescimento das árvores e de qualidade da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* para a produção de carvão. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais 47: 22-28.

VITTI AMS & BRITO JO. 1999. Avaliação do rendimento e do teor de *citronelal* do óleo essencial de procedência e raças locais de *Eucalyptus citriodora*. Scientia Florestalis 56: 145-154.