

## Equações de Perfil do Tronco para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh no Centro-sul Tocantinense

Jean Rafael Ribeiro<sup>1</sup>, Valdir Carlos Lima de Andrade<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Tocantins – UFT, Gurupi/TO, Brasil

### RESUMO

O objetivo deste estudo foi selecionar um modelo de taper considerando a influência da estratificação dos dados em quatro diferentes classes de diâmetro. Foram avaliados seis modelos de taper em um plantio comercial de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh com 53 meses de idade, localizado na região centro-sul do Tocantins. Nessa seleção, além da análise da distribuição dos resíduos, foram adotados os critérios estatísticos: média dos desvios absolutos, viés, soma dos quadrados do resíduo relativo e raiz quadrada do erro médio. De maneira geral, os melhores modelos de taper foram os de Hradetzky, de Schoepfer e de Biging. Quando foram utilizados dados estratificados por classe de diâmetro, os melhores modelos para estimar o perfil do tronco de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh foram o de Hradetzky e o de Schoepfer.

**Palavras-chave:** Biometria Florestal, floresta comercial e taper.

## Stem Profile Equations for the *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh in South Central Tocantins

### ABSTRACT

The objective of this study was to select a model of taper considering the influence of stratification of data in four different diameter classes. Six models of taper were evaluated for a commercial plantation of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh having 53 months, located in the south central region of Tocantins. In this selection, in addition to the distribution of residuals analysis, statistical criteria were used: average absolute deviation, bias, sum of the squares of the relative residue and square root of the mean error. In general, the best models of taper were the Hradetzky, Schoepfer and Biging. Already using data stratified by diameter class, the best model to estimate the stem profile in *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh was to Hradetzky followed by Schoepfer model.

**Keywords:** Forest Biometrics, commercial forest and taper.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com grande vocação florestal em decorrência de suas condições de clima e solo. Possui 477,7 milhões de ha de florestas naturais e em torno de 6,66 milhões de ha de florestas plantadas, compostas principalmente por espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, que ocupam cerca de 6,50 milhões de ha, sendo 76,6% de *Eucalyptus* e 23,4% de *Pinus* (ABRAF, 2013).

Nesse contexto, os estados do Tocantins, Bahia, Piauí e Maranhão formam a nova fronteira agrícola brasileira denominada como Matopiba (Mingoti et al., 2014). Nessa região do país, além do grande crescimento da produção agrícola, o plantio de eucalipto vem aumentando devido à prospecção da instalação de empresas de papel e celulose, bem como a utilização da madeira para tratamento, produção de lenha, mourões, carvão vegetal e extração de óleos.

Diante disso e em função da relevância econômica dos diversos usos da madeira do eucalipto, quantificar o volume em diferentes partes do fuste é de fundamental importância, pois, conforme Téio et al. (2012), haverá diminuição de perdas econômicas advindas da má destinação da madeira, otimizando o uso do material a partir da aplicação de um fim adequado. Para Leite et al. (2011), os modelos de perfil do tronco se prestam para isso e constituem alternativas que podem subsidiar a obtenção de informações sobre multiprodutos madeireiros.

Segundo Campos & Leite (2009), diferentes modelos de regressão têm sido propostos e empregados para caracterizar o perfil do fuste, contemplando as múltiplas variações de forma, de acordo com cada espécie florestal. Nesse sentido, o modelo de taper mais eficiente vai depender claramente dos objetivos, ou seja, enquanto um determinado modelo tem melhor resultado para estimar diâmetros (d) ao longo do fuste, ele pode não ser o melhor para calcular alturas comerciais (h) e volumes (v) e vice-versa. No entanto, erros são comuns no ajuste de modelos de taper e, por isso, se buscam formas de minimizar tais erros. De acordo com Santos et al. (2006), a separação das árvores em classes de diâmetro, classes de idade, entre outras, pode gerar modelos mais precisos e confiáveis.

Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar modelos de taper para um clone de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh localizado na região centro-sul

do Tocantins, avaliando, também, a influência da estratificação dos dados em diferentes classes de diâmetro no ajuste desses modelos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado com dados coletados em uma população com 16,3 ha de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh localizada na região centro-sul do estado do Tocantins, município de Dueré, com 53 meses de idade (4,42 anos), implantado no espaçamento inicial de  $6 \times 1,5$  m (Figura 1).

O clima da região é do tipo C2wA'a", segundo a classificação de Thornwaite, que corresponde a um clima úmido-subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm, distribuindo-se no verão em torno de 420 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperaturas mais elevadas. A temperatura média anual na região é de 26 °C, com precipitação média anual entre 1.600 e 1.700 mm, e altitude de 200 à 400 m (Tocantins, 2012).

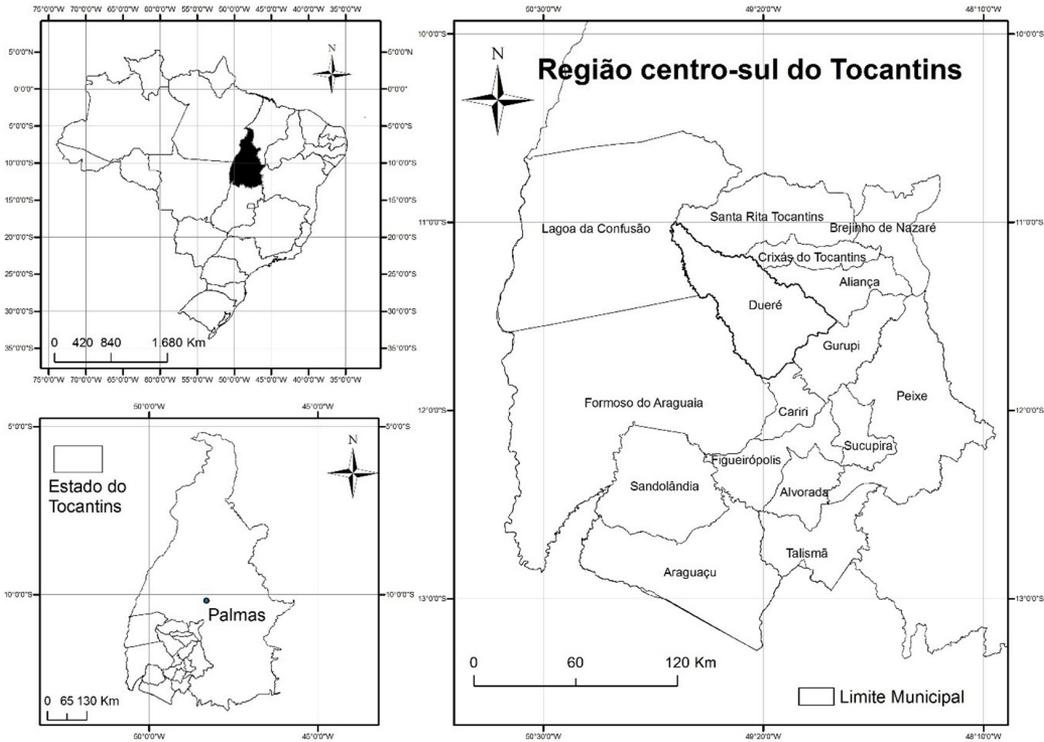
### 2.2. Coleta dos dados e modelos de taper avaliados

Os dados para ajuste dos modelos de taper foram obtidos por meio da cubagem rigorosa de 20 árvores-amostra em quatro diferentes classes de diâmetro medido a 1,30 m do terreno (DAP), tendo cinco árvores por classe diamétrica. As medições de diâmetro com casca foram obtidas nas posições: 0,1 m, 0,2 m, 0,4 m, 0,7 m, 1,3 m, 2,7 m e, a partir desse ponto, à cada 2 metros, até um diâmetro mínimo aproximado de 3 cm com casca.

A partir dos dados obtidos nas 20 árvores-amostra foi realizado o ajuste de seis modelos de taper, sendo três de regressão linear e três de regressão não linear. Os modelos foram selecionados por serem os mais estudados e/ou utilizados no Brasil, conforme Andrade (2014), sendo os do tipo linear o de Kozak (Equação 1), o de Schoepfer (Equação 2) e o de Hradetzky (Equação 3), e os do tipo não linear o de Demaerschalk (Equação 4), o de Ormerod (Equação 5) e o de Biging (Equação 6) (Tabela 1).

Após a decisão dos melhores modelos lineares e não lineares, empregando-se todos os dados, foi feito o ajuste deles, separadamente, por classe de diâmetro, a fim de comparar o ajuste com dados em um único lote,

conforme considerações feitas por Santos et al. (2006). Nessa comparação, além da análise da distribuição de resíduos, foram utilizadas Média dos desvios absolutos (Equação 7), Viés (Equação 8), Soma dos quadrados



**Figura 1.** Localização da região onde se coletou os dados para este estudo.  
**Figure 1.** Location of the region where the data was collected for this study.

**Tabela 1.** Modelos de taper ajustados para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh na região centro-sul do Tocantins.  
**Table 1.** Taper models set for the species *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh in the south central region of Tocantins.

Código	Modelo estatístico	Autor
KzL (Equação 1)	$di^2dap^{-2} = \beta_0 + \beta_1(hi / H) + \beta_2(hi / H)^2 + \varepsilon$	Kozak et al. (1969)
SrL (Equação 2)	$didap^{-1} = \beta_0 + \beta_1(hi / H) + \beta_2(hi / H)^2 + \beta_3(hi / H)^3 + \beta_4(hi / H)^4 + \beta_5(hi / H)^5 + \varepsilon$	Schöpfer (1966)
HzL (Equação 3)	$didap^{-1} = \beta_0 + \beta_1(hi / H)^{p1} + \beta_2(hi / H)^{p2} + \dots + \beta_n(hi / H)^{pn} + \varepsilon$	Hradetzky (1976)
DNL (Equação 4)	$di^2dap^{-2} = 10^{2\beta_0} dap^{2\beta_1} H^{2\beta_2} (H - hi)^{2\beta_3} + \varepsilon$	Demaerschalk (1972)
ONL (Equação 5)	$di^2dap^{-2} = [(H - hi) / (H - 1,30)]^{2\beta_1} + \varepsilon$	Ormerod (1973)
BNL (Equação 6)	$didap^{-1} = \beta_1 + \beta_2 \ln [1 - (hi / H)^{1/3} (1 - e^{-\beta_1 / \beta_2})] + \varepsilon$	Biging (1984)

di = diâmetro na altura hi (cm); dap = diâmetro na altura 1,30 m (cm); H = altura total da árvore (m); hi = altura i de um determinado diâmetro (m); βi = coeficientes do modelo; pi = potências selecionadas no modelo; ε = erro aleatório; As potências utilizadas no modelo HzL foram: 0,005; 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.

do resíduo relativo (Equação 9) e Raiz quadrada do erro médio (Equação 10), também utilizadas por Figueiredo et al. (1996, 2006), Fischer et al. (2001), Queiroz et al. (2008), Leite et al. (2011), Favalessa et al. (2012), Téó et al. (2012) Loureiro et al. (2012) e Curto et al. (2014), fórmulas descritas a seguir:

$$MDA = i = 1 n |di - diest| \tag{7}$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n di - \sum_{i=1}^n diest}{n} \tag{8}$$

$$SQRR = \sum_{i=1}^n \left( \frac{di - diest}{di} \right)^2 \tag{9}$$

$$RQEM = \sqrt[2]{\frac{\sum_{i=1}^n (di - diest)^2}{n - 1}} \tag{10}$$

Em que: MDA = Média dos desvios absolutos; V = Viés; SQRR = Soma dos quadrados do resíduo relativo; RQEM = Raiz quadrada do erro médio; di = diâmetro observado; diest = diâmetro estimado; n = número de observações ao longo do tronco das 20 árvores-amostra cubadas.

Na análise das estatísticas MDA, V, SQRR e RQEM, foi elaborado um *ranking* para expressar o desempenho

dos modelos de taper na estimação de diâmetros ao longo do tronco de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Esse *ranking*, conforme utilizado nos trabalhos de Fischer et al. (2001), Figueiredo et al. (2006), Favalessa et al. (2012) e Lansanova et al. (2013), foi aplicado para selecionar o melhor modelo linear e não linear, sendo atribuído a nota 1 ao modelo que apresentou maior exatidão em cada quesito e assim sucessivamente até a nota 6 para o modelo que apresentou a menor exatidão. No caso de mesmo valor em qualquer das estatísticas para diferentes modelos, esses receberam a mesma nota.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas descritivas e a distribuição de frequência (Tabela 2), nas quais os dados foram separados em classes diamétricas com amplitude de 3,2 cm a partir do diâmetro mínimo, considerado como 7 cm, indicaram que a cubagem foi feita em árvores-amostra contemplando a variação de diâmetro entre 7,4 e 20,1 cm e de altura entre 11,3 e 22,2 m.

Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes de regressão, o erro padrão de estimativa em porcentagem

**Tabela 2.** Diâmetro, altura e número de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh cubadas na região centro-sul do Tocantins.

**Table 2.** Diameter, height and number of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh scaled trees in the south central region of Tocantins.

Classe	n	dm	dmáx	dmín	hm	hmáx	hmín
1 (d < 10,6 cm)	5	8,88	10,47	7,42	14,52	17,50	11,30
2 (10,6 ≤ d < 13,8 cm)	5	11,90	13,40	10,85	17,82	18,60	17,20
3 (13,8 ≤ d < 16,9 cm)	5	15,11	15,92	13,88	19,94	21,50	19,00
4 (d ≥ 16,9 cm)	5	18,85	20,12	17,19	21,00	22,2	20,60

n = número de árvores cubadas; dm = diâmetro médio aritmético(cm); dmáx = diâmetro máximo (cm); dmín = diâmetro mínimo (cm); hm = altura média (m); hmáx = altura máxima (m); hmín = altura mínima (m).

**Tabela 3.** Estatísticas obtidas no ajuste de seis modelos de taper para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh na região centro-sul do Tocantins.

**Table 3.** Statistics obtained in the setting of six models of taper for the *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh in the south central region of Tocantins.

Código	β0	β1	β2	β3	β4	β5	Syx%	R²aj
KzL	1,38	-3,097	2,087	-	-	-	7,15	0,9664
SrL	1,246	-4,677	23,913	-63,474	75,975	-33,82	4,00	0,9895
HZL*	-136,883	146,313	-5,950	10,353	-13,689	-	3,67	0,9911
DNL	0,282	1,021	0,964	-1,154	-	-	8,38	0,9539
ONL	-	0,923	-	-	-	-	11,13	0,9186
BNL	-	1,279	0,471	-	-	-	4,69	0,9855

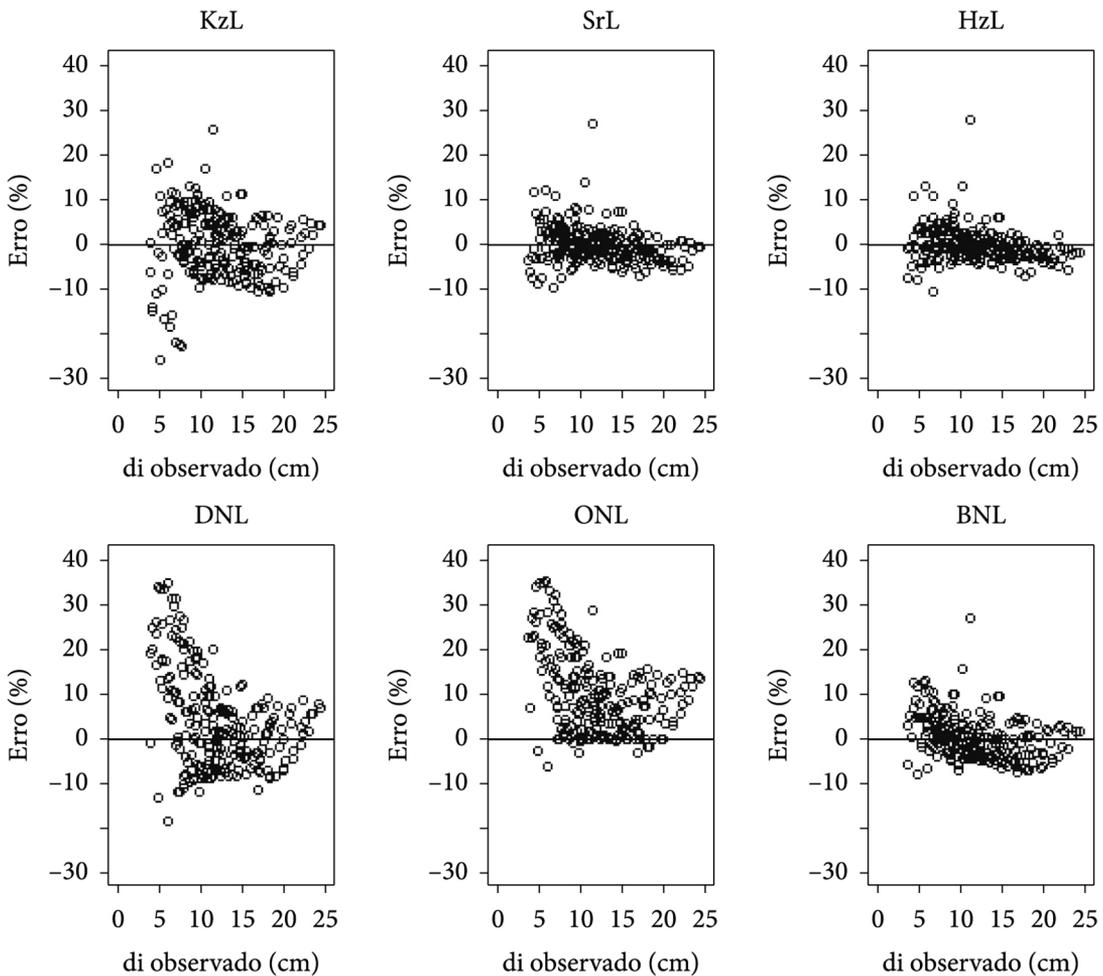
\*As potências selecionadas no modelo HZL pelo método de Stepwise foram: 0,005; 0,9; 0,6; 0,2.

(Syx%) e o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) das funções de taper avaliadas para o clone de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh considerando um único lote de dados para cubagem rigorosa de 20 árvores-amostra.

Os modelos testados apresentaram  $R^2_{aj}$  entre 91,86% (ONL) e 99,11% (HzL) e Syx% entre 3,67% (HzL) e 11,13% (ONL), sendo o modelo de HzL o que apresentou o maior valor de  $R^2_{aj}$  e o menor Syx%, resultados que corroboram os encontrados por Yoshitani et al. (2012) e Kohler et al. (2013). Queiroz et al. (2008) verificaram em estudo de equações de taper para *Mimosa scabrella* que o modelo de KzL apresentou resultados baixos de acuracidade e bons resultados para HzL e SrL. Já na análise da distribuição dos resíduos (Figura 2), os

seis modelos comportaram-se de maneira diferente. Nota-se que os modelos de HzL, SrL e BNL foram os que apresentaram as melhores dispersões, embora também com tendenciosidades para diâmetros menores que 8cm, aproximadamente.

A Tabela 4 apresenta os resultados dos critérios estatísticos utilizados para complementar a seleção do melhor modelo. Observa-se que o modelo de taper HzL resultou na menor somatória dentre todos os modelos testados, sendo selecionado para o ajuste em classes de diâmetro. Como o modelo de SrL apresentou resultados consistentes e semelhantes ao modelo HzL, e por ser de fácil ajuste, esse também foi selecionado para o ajuste por classe diamétrica.



**Figura 2.** Distribuição de resíduos percentuais em relação ao diâmetro real do tronco para seis modelos de taper ajustados para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh em um plantio localizado na região centro-sul do Tocantins.

**Figure 2.** Distribution of percent residue from the actual diameter of the trunk to six taper models adjusted for *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh in a plantation located in the south central region of Tocantins.

O melhor modelo do tipo não linear, dentre DNL, ONL e BNL foi o modelo BNL (Biging, 1984), pois apresentou o menor somatório dentre os modelos não lineares testados e o terceiro menor somatório no geral (Tabela 4), sendo, também, selecionado para o ajuste utilizando-se dados agrupados por classe de diâmetro.

A partir da análise dos resultados previamente estabelecidos (Tabela 4 e Figura 2), para avaliar o taper por classes de diâmetro conforme apresentadas na Tabela 2, foram selecionados o modelo de HzL (Hradetzky, 1976) como melhor modelo de regressão linear, o modelo BNL (Biging, 1984) como melhor modelo de regressão não linear e, também, por apresentar-se próximo ao modelo HzL, o modelo do tipo linear SrL (Schöpfer, 1966).

Na Tabela 5 são apresentados os coeficientes de regressão, o erro padrão de estimativa em porcentagem (Syx%) e o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) das funções de taper HzL, SrL e BNL para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh com os dados de cubagem rigorosa divididos em quatro classes de diâmetro com 5 árvores-amostra cada.

De acordo com a Tabela 5, os três modelos apresentaram resultados de  $R^2_{aj}$  satisfatórios para as classes 2, 3 e 4, com valores acima de 97%. O mesmo ocorreu com o Syx%, no qual os melhores resultados, expressivamente, foram encontrados nas classes de diâmetro 2, 3 e 4. Já na distribuição dos resíduos apresentada na Figura 3, os três modelos apresentaram uma leve tendenciosidade para subestimar os diâmetros

**Tabela 4.** Ranking obtido com os critérios estatísticos utilizados para complementar a seleção do melhor modelo de taper para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

**Table 4.** Ranking obtained with the statistical criteria used to supplement the selection of the best taper model for *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

Código	MDA	N1	VIÉS	N2	SQRR	N3	RQEM	N4	NG
KzL	0,702	4	-0,0914	4	1,7928	4	0,8735	4	16
SrL	0,353	2	-0,0685	2	0,3985	2	0,4854	2	8
HzL	0,311	1	-0,0702	3	0,3388	1	0,4466	1	6
DNL	0,861	5	0,246	5	2,9868	5	1,0217	5	20
ONL	1,081	6	1,0602	6	4,1082	6	1,3667	6	24
BNL	0,433	3	-0,0510	1	0,5479	3	0,5738	3	10

N1 = nota referente à MDA; N2 = nota referente ao Viés; N3 = nota referente à SQRR; N4 = nota referente à RQEM; NG = nota geral (N1+N2+N3+N4).

**Tabela 5.** Estatísticas obtidas no ajuste de seis modelos de taper para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh na região centro-sul do Tocantins em cada classe de diâmetro.

**Table 5.** Statistics obtained in the setting of six models of taper for *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh in the south central region of Tocantins in each diameter class.

Código	C	B0	B1	B2	B3	B4	B5	Syx(%)	$R^2_{aj}$
SrL	1	1,310	-5,366	28,608	-79,853	102,045	-48,845	7,13	0,9441
	2	1,255	-5,069	27,333	-74,272	90,213	-40,499	3,56	0,9864
	3	1,222	-4,554	24,205	-65,283	80,063	-36,020	2,88	0,9910
	4	1,219	-4,569	23,637	-63,295	76,240	-34,090	2,59	0,9935
BNL	1	-	1,345	0,541	-	-	-	7,45	0,9390
	2	-	1,282	0,472	-	-	-	5,50	0,9794
	3	-	1,252	0,435	-	-	-	3,63	0,9857
	4	-	1,252	0,454	-	-	-	3,52	0,9881
HzL	1	1,348	-1,014	-	-	-	-	7,29	0,9416
	2	21,259	-0,634	-20,517	-	-	-	2,75	0,9919
	3	16,369	-0,553	-15,538	-0,139	-	-	2,42	0,9936
	4	13,204	-0,464	-12,286	-0,395	-	-	2,03	0,9960

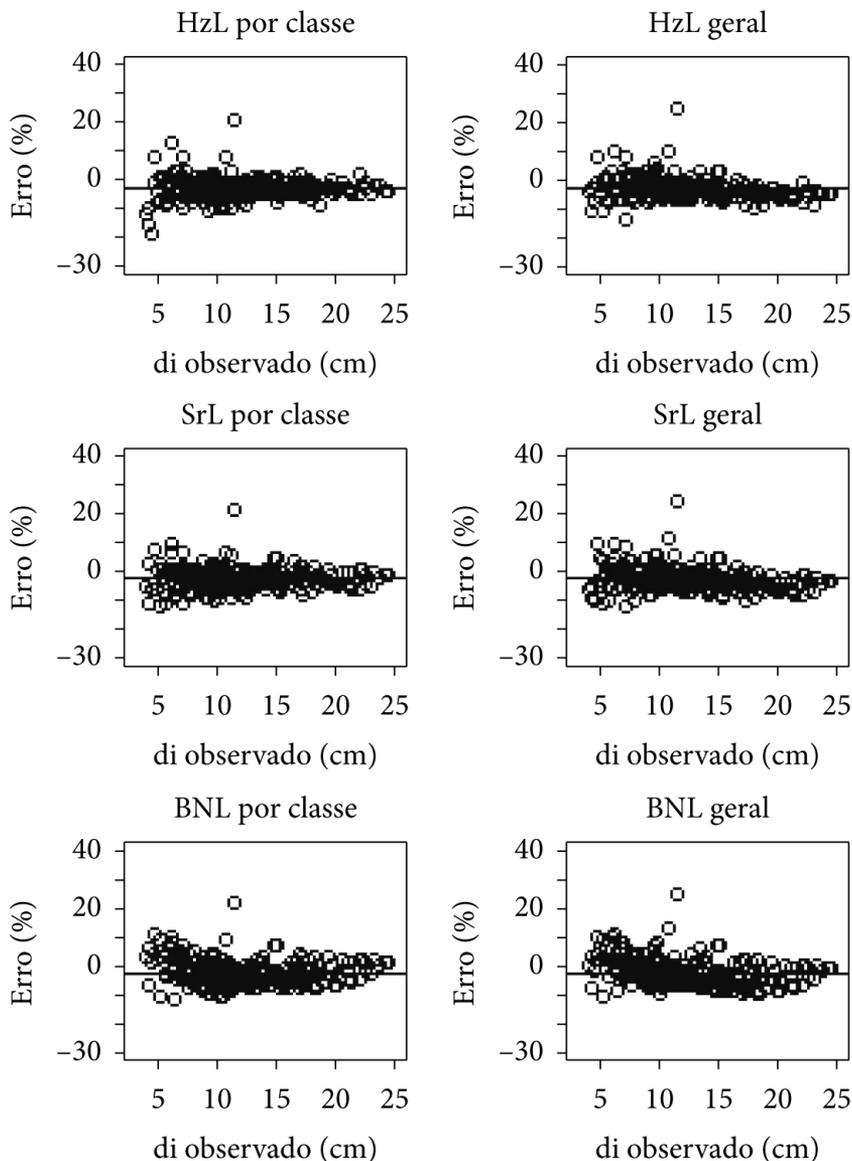
As potências selecionados para o modelo HzL foram: classe 1 = 0,5; classe 2 = 2 e 0,005; classe 3 = 2, 0,005 e 0,6; classe 4 = 3, 0,005 e 0,6.

menores em todas as classes. Ressalta-se, que os resultados por classe de diâmetro foram obtidos para as 20 árvores-amostra empregando-se a equação de taper gerada para cada classe e, para obter os resultados gerais, empregou-se a única equação gerada com todos os dados, sem separá-los por classe de diâmetro, ambos sendo comparados com os respectivos valores reais.

Na comparação da distribuição dos resíduos para os modelos de ajuste por classe de diâmetro com a distribuição dos modelos com ajuste geral (Figura 3)

pôde-se aferir que os modelos de HzL e SrL apresentaram uma diminuição de tendência na distribuição dos resíduos por classe diamétrica em relação aos seus respectivos ajustes com dados gerais, o que não se notou no modelo de BNL, pois esse não apresentou diferenças perceptíveis na comparação de seus gráficos (BNL por classe versus BNL geral).

A Tabela 6 apresenta os resultados de exatidão dos modelos de afilamento selecionados para representar o perfil do tronco nas quatro classes de diâmetro



**Figura 3.** Distribuição dos resíduos para ajustes gerais e por classe diamétrica dos modelos de Hradetzky, de Schoepfer e de Biging.

**Figure 3.** Distribution of waste to general settings and by diameter class of models Hradetzky, Schoepfer and Biging.

**Tabela 6.** Ranking obtido com os critérios estatísticos utilizados para complementar a seleção do melhor modelo de taper para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh com dados agrupados e separados por classe diamétrica.

**Table 6.** Table 6. Ranking obtained with the statistical criteria used to supplement the selection of the best taper model for *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh with grouped data and separated by diameter class.

Código	MDA	N1	VIES	N2	SQRR	N3	RQEM	N4	NG
HzL geral	0,3519	1	0,2178	6	0,1930	2	0,6120	3	12
HzL classe 1	0,4245	5	-0,0379	3	0,2353	6	0,6086	2	16
SrL geral	0,3820	3	0,2128	5	0,2019	3	0,6158	4	15
SrL classe 1	0,3800	2	-0,0367	2	0,1731	1	0,5693	1	6
BNL geral	0,4066	4	0,2014	4	0,2172	4	0,6601	6	18
BNL classe 1	0,4554	6	-0,0253	1	0,2182	5	0,6220	5	17
HzL geral	0,2269	2	0,0163	5	0,0402	2	0,2970	2	11
HzL classe 2	0,2251	1	-0,0045	2	0,0390	1	0,2857	1	5
SrL geral	0,2730	4	0,0152	4	0,0584	3	0,3609	4	15
SrL classe 2	0,2689	3	-0,0043	1	0,0610	4	0,3590	3	11
BNL geral	0,3585	5	0,0246	6	0,1014	5	0,4605	5	21
BNL classe 2	0,3598	6	0,0065	3	0,1016	6	0,4605	5	20
HzL geral	0,2696	2	-0,1027	6	0,0457	3	0,3746	3	14
HzL classe 3	0,2395	1	-0,0119	3	0,0338	1	0,3076	1	6
SrL geral	0,3437	4	-0,0928	5	0,0607	4	0,4239	4	17
SrL classe 3	0,2780	3	-0,0081	2	0,0453	2	0,3596	2	9
BNL geral	0,4197	6	-0,0745	4	0,1214	6	0,5176	6	22
BNL classe 3	0,3764	5	0,0027	1	0,0773	5	0,4695	5	16
HzL geral	0,3942	3	-0,3310	6	0,0596	3	0,4815	3	15
HzL classe 4	0,2602	1	-0,0139	3	0,0330	1	0,3149	1	6
SrL geral	0,4091	4	-0,3183	5	0,0770	4	0,5316	4	17
SrL classe 4	0,3304	2	-0,0121	2	0,0522	2	0,3940	2	8
BNL geral	0,5306	6	-0,2841	4	0,1078	6	0,6528	6	22
BNL classe 4	0,4561	5	0,0007	1	0,0853	5	0,5553	5	16

N1 = nota referente à MDA; N2 = nota referente ao Viés; N3 = nota referente à SQRR; N4 = nota referente à RQEM; NG = nota geral (N1+N2+N3+N4).

em comparação com o ajuste geral. Esses resultados permitiram inferir a superioridade dos modelos polinomiais (HzL e SrL) em relação ao modelo não linear (BNL), independentemente da forma de ajuste, conforme detectado pelas estatísticas: MDA, SQRR, RQEM. Pôde-se notar ainda que para todas as classes diamétricas os modelos ajustados por classes foram superiores quando comparados aos respectivos modelos de ajuste geral, exceto na classe 1, na qual o modelo de HzL geral apresentou resultados superiores ao seu ajuste por classe.

Utilizando a Tabela 6 e as notas gerais (NGs), gerou-se a Tabela 7 para as quatro classes diamétricas estudadas. Essa tabela compila os resultados das notas atribuídas aos modelos e suas respectivas formas de ajuste em somente um valor geral.

O modelo de HzL ajustado por classes apresentou estimativas mais exatas dentre todas as alternativas

de ajuste testadas, seguido de perto pelo desempenho também eficiente do modelo de SrL ajustado por classe. É importante ressaltar que nessas duas condições e formas de ajuste, os modelos ajustados por classe foram superiores à sua respectiva forma de ajuste geral, comprovando a eficácia da estratificação dos dados e corroborando o trabalho de Téo et al. (2012), no qual as funções de afilamento de melhor desempenho para o fuste de *Pinus taeda* foram os modelos de Hradetzky (1976) e Schöepfer (1966), sendo mais eficientes quando ajustados com dados estratificados por classes, as quais, neste trabalho, se referiram às classes de idade do povoamento.

O modelo de SrL ajustado por classe apresentou resultados satisfatórios superados apenas pelos do modelo de HzL. Os mesmos resultados foram encontrados nos trabalhos realizados por Fischer et al. (2001), Loureiro et al. (2012) e Téo et al. (2012), nos quais os modelos que

**Tabela 7.** Somatória dos *rankings* em suas respectivas formas de ajuste para cada classe diamétrica.

**Table 7.** Sum of rankings in their respective ways of tuning for each diameter class.

Código	Modo de ajuste	Somatória final	Ranking
HzL	Geral	52	3
HzL	Classes	33	1
SrL	Geral	64	4
SrL	Classes	34	2
BNL	Geral	83	6
BNL	Classes	69	5

apresentaram os melhores resultados para estimar o perfil do tronco foram os modelos de Hradetzky (1976) e Schöepfer (1966).

#### 4. CONCLUSÕES

Os melhores modelos lineares para estimar o diâmetro com casca ao longo do tronco de *Eucalyptus camaldulensis* foram o de Hradetzky (1976) e o de Schöepfer (1966). Entre os modelos não lineares, o modelo de Biging (1984) foi considerado o melhor. No entanto, para ambas as condições de ajuste linear e não linear o modelo de Biging apresentou os piores resultados, não sendo recomendada a sua utilização para descrever o taper de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh no centro-sul tocaninense.

Todavia, quanto ao ajuste por classe de diâmetro, todos os modelos apresentaram resultados superiores aos respectivos modelos de ajuste geral, podendo-se verificar que o modelo desenvolvido por Schöepfer (1966) apresentou-se melhor que os demais modelos de taper avaliados neste trabalho, podendo ele ser recomendado para descrever o perfil ao longo do fuste de *Eucalyptus camaldulensis* no sul do Tocantins.

#### STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 18 fev., 2015

Aceito: 25 out., 2015

#### \*AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

##### Valdir Carlos Lima de Andrade

Universidade Federal do Tocantins – UFT, Rua Badejos, Lote 7, Chácaras 69/72, Zona Rural, CEP 77404-970, Gurupi, TO, Brasil  
e-mail: vclandrade@hotmail.com

#### REFERÊNCIAS

Andrade VCL. Modelos de taper do tipo expoente-forma para descrever o perfil do fuste de árvores. *Pesquisa Florestal Brasileira* 2014; 34(80): 271-283. <http://dx.doi.org/10.4336/2014.pfb.34.80.614>.

Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF. *Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2012*. Brasília; 2013. 148 p.

Biging GS. Taper equations for second mixed-conifers of Northern California. *Forest Science* 1984; 30(4): 1103-1117.

Campos JCC, Leite HG. *Mensuração florestal: perguntas e respostas*. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2009. 548 p.

Curto RA, Mattos PP, Braz EM, Zachow R, Péllico SP No. Caracterização da estrutura e desenvolvimento de modelos para quantificação do potencial madeireiro em povoamento não manejado de *Araucaria angustifolia*. *Pesquisa Florestal Brasileira* 2014; 34(80): 303-319. <http://dx.doi.org/10.4336/2014.pfb.34.80.764>.

Demaerschalk JP. Integrated systems for the estimation of tree taper and volume. *Canadian Journal of Forest Research* 1972; 3(90): 90-94.

Favalessa CM, Ubiali JÁ, Caldeira SF, Drescher R, Acosta FC. Equações de sortimentos para *Tectona grandis* na região centro-sul de Mato Grosso. *Pesquisa Florestal Brasileira* 2012; 32(72): 389-399. <http://dx.doi.org/10.4336/2012.pfb.32.72.389>.

Figueiredo A Fo, Borders BE, Hitch KL. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in southern Brazil. *Forest Ecology and Management* 1996; 83(1-2): 36-46. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127\(96\)03706-1](http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127(96)03706-1).

Figueiredo EO, Scolforo JRS, Oliveira AD. Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L.f. *Acta Amazonica* 2006; 36(4): 465-482. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672006000400008>.

Fischer F, Scolforo JR, Acerbi FW Jr, Mello JM, Maestri R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. *Ciência Florestal* 2001; 11(1): 167-188.

Hradetzky J. *Analyse und interpretation statistis herabrängerkeiten*. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschung sanstalt Baden-Wüettemberg; 1976.

Kohler SV, Koehler HS, Figueiredo A Fo. Modelos de afilamento para *Pinus taeda* por classes de idade. *Floresta e Ambiente* 2013; 20(4): 470-479.

Kozak A, Munro DD, Smith JGH. Taper functions and their applications in forest inventory. *Forestry Chronicle* 1969; 45(4): 278-283. <http://dx.doi.org/10.5558/tfc45278-4>.

Lansanova LR, Ubiali JA, Arce JA, Pelissari AL, Favalessa CMC, Drescher R. Avaliação de funções de afilamento para a estimativa de diâmetro de espécies florestais comerciais

- do bioma amazônico mato-grossense. *Floresta* 2013; 43(2): 215-224. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v43i2.26518>.
- Leite HG, Oliveira RR No, Monte MA, Fardin L, Alcantara AM, Binoti MLMS et al. Modelo de afilamento de cerne de *Tectona grandis* L.f. *Scientia Forestalis* [online] 2011 [citado em 2014 maio 30]; 39(89): 53-59. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr89/cap05.pdf>
- Loureiro GH, Curto RA, Rosot NC, Marangon GP. Avaliação de equações de afilamento em um plantio de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze utilizando o diâmetro como variável dependente. In: *Anais do 4º Congresso Florestal Paranaense*; 2012; Curitiba. Curitiba: APRE; 2012.
- Mingoti R, Brasco MA, Holler WA, Lovisi Filho E, Spadotto CA. *Matopiba: caracterização das áreas com grande produção de culturas anuais*. Campinas: EMBRAPA Gestão Territorial; 2014.
- Ormerod DW. A simple bole model. *Forestry Chronicle* 1973; 49(3): 136-138. <http://dx.doi.org/10.5558/tfc49136-3>.
- Queiroz D, Machado SDA, Figueiredo A Fo, Arce JE, Koehler HS. Identidade de modelos em funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos nativos da Região Metropolitana de Curitiba/PR. *Floresta* 2008; 38(2): 339-349. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v38i2.11629>.
- Santos K, Sanquetta CR, Eisfield RL, Watzlawick LF, Ziliotto MAB. Equações volumétricas por classe diamétrica para algumas espécies folhosas da Floresta Ombrófila Mista no Paraná, Brasil. *Revista Ciências Exatas e Naturais* [online]. 2006 [citado em 2014 agosto 6]; 8(1): 99-112. Disponível em: <http://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/download/205/253>
- Schöpfer W. *Automatisierung des massen, sorten und wertberechnung stenender waldbestände schriftenreihe Bad. Wurt-Forstl*; 1966.
- Téo SJ, Ehlers T, Marcon A, Peloso A, Costa RH. Funções de afilamento para *Pinus taeda* l. de diferentes idades, na região de Caçador - SC. In: *Anais do 4º Congresso Florestal Paranaense*; 2012; Curitiba. Curitiba: APRE; 2012.
- Tocantins. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública – SEPLAN. *Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial*. 6. ed. rev. atu. Palmas; 2012.
- Yoshitani M Jr, Nakajima NY, Arce JE, Machado SA, Druszcz JP, Hosokawa RT et al. Funções de afilamento para plantios desbastados de *Pinus taeda*. *Revista Floresta* 2012; 42(1): 169-176. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v42i1.26315>.