

PROGNOSE POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA UM POVOAMENTO DE TECA A PARTIR DE UM MODELO DO TIPO POVOAMENTO TOTAL

RESUMO

Neste estudo foi aplicada uma metodologia para estimar o crescimento e a produção por segmentos pré-estabelecidos da distribuição de diâmetro (percentis). Estes segmentos compreenderam os percentis 35°, 50°, 75° e 93°. Foram empregados dados de parcelas permanentes de teca de um povoamento situado em Alta Floresta – MT. Para prognosticar a produção em função do diâmetro, correlacionou-se cada percentil com características do povoamento. Os modelos ajustados foram avaliados com base no coeficiente de determinação, no erro padrão residual, na análise gráfica dos resíduos e no teste L&O. A metodologia empregada permitiu a obtenção da produção de teca de forma segmentada, com obtenção do volume entre os diâmetros percentis definidos.

Palavras-chave: Modelo de crescimento e produção. percentis. Volume.

Júlia Melo Franco Neves Costa
Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e
Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais
ju.melofranco@gmail.com

Renato Vinícius Oliveira Castro
Universidade Federal de São João del-Rei
renatocastro@ufsj.edu.br

Thelma Shirlen Soares
Universidade Federal de Goiás
thelmasoares@ufg.br

Edmilson Santos Cruz
Universidade Federal de Goiás
edmilson_santos_cruz@ufg.br

PROGNOSIS MODEL BY DIAMETER CLASS FOR A TEAK STAND FROM A WHOLE STAND MODEL

ABSTRACT

In this study a methodology was applied to estimate the growth and yield of pre-established segments of diameter distribution (percentiles). These segments have understood the percentiles 35, 50, 75 and 93. They were employed data from permanent plots of teak from a stands located in Alta Floresta - MT. To predict the output depending on the diameter correlated with each percentile stand characteristics. The models tested were evaluated by coefficient of determination, graphic residue analysis and the L & O test. The methodology allowed obtaining a segmented manner teak production, with volume obtaining between percentiles defined diameters, which allows inferences about the use of wood for various purposes.

Keywords: Growth and yield model. Percentiles. Volume.

1. INTRODUÇÃO

No mercado nacional e internacional, os plantios de teca são considerados como

alternativas rentáveis e sustentáveis à exploração de espécies nativas, principalmente para a obtenção de madeira de uso nobre, tornando-os destaque na balança comercial do setor florestal

brasileiro e uma oportunidade na conquista de mercados exigentes por produtos florestais de qualidade (PELISSARI et al., 2014).

Dada a importância econômica e ecológica da teca, torna-se imprescindível a avaliação de alternativas de manejo que otimizem a produção comercial dessa espécie. Neste contexto, o conhecimento do crescimento e da produção presente e futura de árvores e povoamentos florestais são elementos fundamentais no planejamento da produção (SCOLFORO, 1998).

De posse dessas informações acerca de um povoamento, é possível construir tabelas de produção, com a finalidade de determinar rapidamente o estoque de madeira para diferentes tipos de aproveitamento. Conforme relatam Cho et al. (1982) e Leite (1990), tabelas de produção são de grande importância para planejamento, análise e execução de programas de reflorestamento, manejo, administração e análise do rendimento econômico dos povoamentos, tendo amplas aplicações no estabelecimento da qualidade do local, na produção sustentada e na previsão de recursos madeireiros a longo prazo.

Drescher (2004) relata que as tabelas de produção são indispensáveis para a avaliação do estoque dos sortimentos de madeira, visando ao abastecimento industrial, bem como, à avaliação e à otimização da produção com o intuito de definir o período de rotação. Porém, para a teca, a existência dessas tabelas é escassa, surgindo assim, demanda de estudos para a estruturação da produção e os sortimentos para a espécie.

Nesse contexto, desenvolveu-se este estudo com o objetivo de aplicar um modelo para estimar a produção e o crescimento em volume por segmentos pré-estabelecidos da distribuição

de diâmetro, a partir de dados de povoamentos de teca.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido em um povoamento de teca (*Tectona grandis* L.f.) localizado no município de Alta Floresta, Estado de Mato Grosso.

Foram utilizados dados de parcelas permanentes de 900 m² (30 x 30 m), medidas anualmente durante 9 anos. Em cada parcela foram mensurados os diâmetros a 1,30 m de altura do solo (*dap*) e a altura total de todas as árvores das parcelas.

A quantificação da produção foi realizada por meio de segmentos pré-estabelecidos da distribuição de diâmetro, correlacionando percentis com características do povoamento, conforme metodologia proposta por Campos (1997).

Conforme proposto por Campos (1997), os diâmetros percentis são altamente correlacionados com as características do povoamento, sendo a modelagem via percentis estabelecida como modelos para os percentis 35°, 50°, 75° e 93°. Segundo o autor, tal forma de cálculo relaciona diretamente o volume com o diâmetro, possibilitando a obtenção da produção de forma segmentada, útil quando se pensa em uso múltiplo da floresta.

Foi ajustado um modelo para cada percentil estabelecido, sendo que os modelos ajustados correlacionaram características dos povoamentos com os percentis:

$$D_{35} = \beta_0 + \beta_1q + \beta_2D_{min} + \varepsilon \quad [1]$$

$$\ln D_{50} = \beta_0 + \beta_1q + \varepsilon \quad [2]$$

$$\ln D_{75} = \beta_0 + \beta_1q + \beta_2D_{máx} + \varepsilon \quad [3]$$

$$D_{93} = \beta_0 + \beta_1q + \beta_2D_{máx} + \varepsilon \quad [4]$$

Em que: D_{35} = diâmetro percentil 35° (cm); D_{50} = diâmetro percentil 50° (cm); D_{75} = diâmetro percentil 75° (cm); D_{93} = diâmetro percentil 93° (cm); q = diâmetro médio quadrático (cm); D_{\min} = diâmetro mínimo (cm); D_{\max} = diâmetro máximo (cm); β_1 = parâmetro a ser estimado; ε = erro aleatório

Como o diâmetro médio e o diâmetro máximo são as variáveis independentes que têm maior correlação com os percentis, foram ajustados modelos para estimar estas variáveis:

$$\ln(q) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I} + \frac{\beta_2}{S} + \beta_3 \ln(D_{\min}) + \ln(\varepsilon) \quad [5]$$

$$D_{\max} = \beta_0 + \beta_1 q + \beta_2 (I \times Hd) + \varepsilon \quad [6]$$

Em que: Hd = altura dominante (m); I = idade (meses); \ln = logaritmo neperiano; q , D_{\min} , D_{\max} , β_0 , β_1 , β_2 , β_3 , ε_i = conforme definido anteriormente.

Os modelos foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados (DRAPER; SMITH, 1998). Para avaliar os modelos ajustados e verificar a existência ou não de tendenciosidade nas estimativas, utilizaram-se o coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), o erro padrão relativo ($S_{yx\%}$) e a distribuição gráfica dos resíduos.

Ainda, foi aplicado L&O (LEITE; OLIVEIRA 2002), cujo procedimento resulta da combinação do teste de $F(H_0)$ Graybill, do teste t para erro médio (\bar{e}) e da análise de correlação linear (r_{Y,Y_1}) entre os valores observados (Y_j) e os valores estimados (Y_1). O teste compara o valor observado como variável dependente e o valor estimado como variável independente. Assim, para situações em que $F(H_0)$ e t forem não-significativos (ns) e $r_{yy1} \geq 1 - |\bar{e}|$, conclui-se que os valores estimados pela regressão não diferem dos observados.

Obteve-se a prognose de volume de madeira por meio da associação das equações ajustadas para projeção da área basal, percentis, diâmetros médio e máximo. Para tanto foi empregada o sistema de Clutter ajustado por Costa et al. (2016) para o povoamento em estudo, cujas equações são:

$$\begin{cases} \ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,2212 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) - 0,0013 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S \\ \ln V_2 = 1,8193 - \frac{1,6836}{I_2} + 0,0024S + 1,0614 \ln B_2 \end{cases} \quad [7]$$

Em que: V_2 = volume em I_2 ($m^3 \text{ ha}^{-1}$); I_1 = idade atual (meses); I_2 = idade futura (meses); B_1 = área basal atual ($m^2 \text{ ha}^{-1}$); B_2 = área basal futura ($m^2 \text{ ha}^{-1}$); S = índice de sítio (m).

A produção nos quatro segmentos estabelecidos da distribuição de diâmetro, em várias idades, foi realizada a partir associação das equações obtidas para os percentis, diâmetro médio e diâmetro máximo e com a equação de projeção volumétrica (equação de Clutter).

Para demonstrar a aplicabilidade do sistema proposto e demonstrar a funcionalidade do sistema com base na definição de percentis em diâmetro e volume, foi construída uma tabela de produção onde foram relacionados os diâmetros percentis calculados e o volume entre cada percentil, além da área basal, do volume total e dos diâmetros médio e máximo. A produção total foi segmentada em cinco partes: \hat{V}_1 = produção até o percentil 35, \hat{V}_2 = produção até o percentil 35 e 50, \hat{V}_3 = produção até o percentil 50 e 75, \hat{V}_4 = produção até o percentil 75 e 93; e \hat{V}_5 = produção até o percentil 93.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas dos parâmetros e as estatísticas de ajuste dos modelos percentis e dos

modelos de diâmetro médio e máximo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas do ajuste dos modelos.

Equação	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	R^2_{aj}	$S_{yx}(\%)$
D ₃₅	2,1542	-0,1977*	1,0465*	-	0,99	± 4,41
D ₅₀	0,3769	0,1942*	-	-	0,93	± 3,63
D ₇₅	-1,3631	0,5308	0,6492*	-	0,97	± 7,33
D ₉₃	-0,0704	0,3543*	0,7549*	-	0,98	± 5,74
ln(q)	2,7929	-5,1027*	-2,9516*	-0,0227*	0,92	± 6,62
D _{máx}	4,3993*	0,0108*	-	-	0,88	± 5,40

Em que: * = significativo ao nível de 5 de probabilidade.

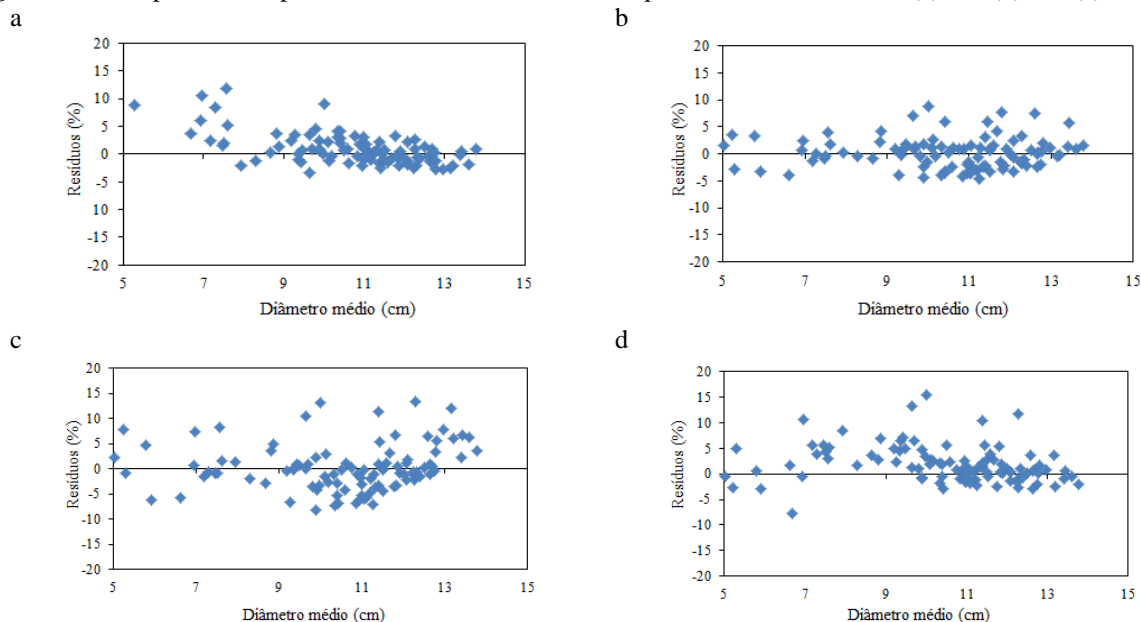
Fonte: Elaborado pelos autores.

Verificou-se que os modelos obtiveram bons ajustes com valores de coeficiente de determinação superiores a 88% e o erro padrão da estimativa variando entre 3,6% e 7,3%.

A dispersão dos resíduos das equações ajustadas é apresentada nas Figuras 1 e 2. A análise gráfica dos resíduos indicou para o percentil 35° (Figura 1a) apresentou tendência de subestimar menores valores de diâmetro médio, enquanto o percentil 93° (Figura 1d) apresentou

tendência de subestimação para valores de diâmetro médio entre 7 a 11 cm. Para os outros percentis, contudo, não houve tendenciosidade nas estimativas. Já a análise gráfica dos resíduos em função da idade para os diâmetros médio (Figura 2a) e máximo (Figura 2a) apresentou dispersão variando de -15% a +15%, com tendência de superestimativa dos diâmetros médios na idade 54 e 66 meses.

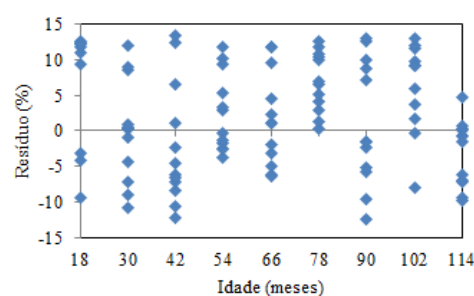
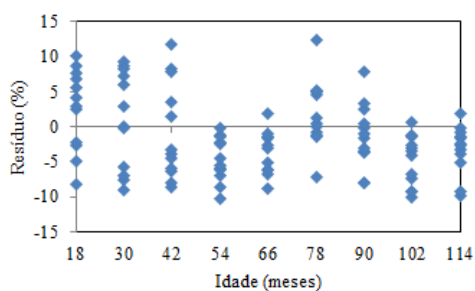
Figura 1 - Erros percentuais para as estimativas dos diâmetros percentis observados 35°(a), 50°(b), 75°(c) e 93°(d).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2 - Distribuição dos resíduos, em porcentagem, para as estimativas de diâmetro médio (a) e diâmetro máximo (b).

a b



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados do teste de aderência L&O, para um nível de significância de 5%, estão representados na Tabela 2.

Verifica-se que os valores estimados pela regressão não diferem estatisticamente dos

observados para o nível de significância estabelecido.

Tabela 2 - Resultados do teste de $F(H_0)$ Graybill, do teste t para erro médio ($t_{\bar{e}}$) e da análise de correlação linear (r_{y_j/y_l}) entre os valores observados (Y_j) e os valores estimados (Y_l).

Equação	$F(H_0)$	$t_{\bar{e}}$	$r_{Y_j Y_l} \leq (1 - \bar{e})$	Conclusão
q	0,060ns	2,322 ns	sim	Y_j^* é estatisticamente igual a Y_l^{**} .
D_{max}	0,005ns	1,788ns	sim	Y_j^* é estatisticamente igual a Y_l^{**} .
D_{35}	0,074ns	0,440ns	sim	Y_j^* é estatisticamente igual a Y_l^{**} .
D_{50}	0,009ns	0,822ns	sim	Y_j^* é estatisticamente igual a Y_l^{**} .
D_{75}	0,021ns	0,539ns	sim	Y_j^* é estatisticamente igual a Y_l^{**} .
D_{93}	0,002ns	1,956ns	sim	Y_j^* é estatisticamente igual a Y_l^{**} .

Fonte: Elaborado pelos autores.

Verifica-se que os valores estimados pela regressão não diferem estatisticamente dos observados para o nível de significância estabelecido.

De posse das equações ajustadas, elaborou-se uma tabela de produção (Tabela 3) para verificar a consistência do ajuste do modelo considerando três classes de capacidade produtiva ($S=12,0$; $S=14,5$ e $S=16,0$) as quais foram obtidas para o povoamento em estudo por Costa et al. (2016).

Para melhor compreensão da tabela de produção construída, o seguinte exemplo pode ser seguido: num povoamento de 54 meses e

índice de local 14,5, é esperado encontrar um diâmetro médio (q) igual a 10,23 cm, um diâmetro máximo (D_{max}) igual a 11,22 cm e um volume total por hectare igual a 86,53 m^3 . A distribuição deste volume por segmento de diâmetros é a seguinte: 35% ($30,28 m^3 \cdot ha^{-1}$) estão até o diâmetro 10,15 cm; $12,98 m^3 \cdot ha^{-1}$, entre os percentis D_{35} (10,15 cm) e D_{50} (10,64 cm); $21,63 m^3 \cdot ha^{-1}$, entre os percentis D_{50} (10,64 cm) e D_{75} (11,35 cm); $15,57 m^3 \cdot ha^{-1}$, entre os percentis D_{75} (11,35 cm) e D_{93} (12,03 cm); e o volume restante, $6,07 m^3 \cdot ha^{-1}$, está entre o percentil D_{93} (12,03 cm) e o diâmetro máximo (12,22 cm).

Tabela 3 - Tabela de produção total e por segmentos da distribuição diamétrica*

Idade (meses)	S	q (cm)	D ₃₅	V ₁ (m ³ ha ⁻¹)	D ₃₅ - D ₅₀	V ₂ (m ³ ha ⁻¹)	D ₅₀ - D ₇₅	V ₃ (m ³ ha ⁻¹)	D ₇₅ - D ₉₃	V ₄ (m ³ ha ⁻¹)	D ₉₃ - D _{máx}	B (m ² ha ⁻¹)	VT (m ³ ha ⁻¹)
18	12,0	4,03	2,39	3,08	2,39-3,19	1,32	3,19-3,43	2,20	3,43-4,44	1,58	4,44-5,09	1,49	8,80
	14,5	4,53	2,39	5,74	2,39-3,51	2,46	3,51-4,31	4,10	4,31-5,34	2,95	5,34-6,04	2,66	16,41
	16,0	5,82	2,20	8,52	2,20-4,51	3,65	4,51-5,80	6,09	5,80-6,73	4,38	6,73-7,27	3,83	24,35
30	12,0	6,58	5,17	10,66	5,17-5,24	4,57	5,24-6,16	7,62	6,16-6,95	5,48	6,95-7,21	4,63	30,47
	14,5	7,40	5,99	15,57	5,99-6,13	6,67	6,13-7,40	11,12	7,40-8,17	8,01	8,17-8,45	6,57	44,50
	16,0	8,58	7,02	19,82	7,02-7,71	8,50	7,71-8,98	14,16	8,98-9,70	10,20	9,70-9,91	8,19	56,64
42	12,0	8,54	6,96	18,16	6,96-7,66	7,78	7,66-8,34	12,97	8,34-8,96	9,34	8,96-9,26	7,53	51,89
	14,5	9,31	8,15	23,88	8,15-8,90	10,23	8,90-9,79	17,06	9,79-10,45	12,28	10,45-10,97	9,68	68,23
	16,0	10,55	9,40	28,47	9,40-11,31	12,20	11,31-11,62	20,33	11,62-12,26	14,64	12,26-12,68	11,35	81,34
54	12,0	9,68	8,57	24,41	8,57-9,56	10,46	9,56-9,91	17,44	9,91-10,50	12,56	10,50-10,95	9,87	69,76
	14,5	10,23	10,15	30,28	10,15-10,64	12,98	10,64-11,35	21,63	11,35-12,03	15,57	12,03-12,22	12,01	86,53
	16,0	10,94	11,98	34,81	11,98-12,20	14,92	12,20-13,02	24,86	13,02-13,78	17,90	13,78-14,21	13,60	99,45
66	12,0	10,75	9,94	29,47	9,94-11,77	12,63	11,77-11,31	21,05	11,31-11,84	15,16	11,84-12,73	11,72	84,21
	14,5	10,84	11,78	35,23	11,78-11,98	15,10	11,98-12,68	25,16	12,68-13,41	18,12	13,41-13,76	13,77	100,65
	16,0	12,51	13,52	39,56	13,52-16,56	16,95	16,56-15,09	28,25	15,09-15,78	20,34	15,78-16,12	15,26	113,02
78	12,0	10,40	11,34	33,57	11,34-10,98	14,39	10,98-12,01	23,98	12,01-12,74	17,27	12,74-13,10	13,21	95,93
	14,5	10,75	13,45	39,11	13,45-11,76	16,76	11,76-13,54	27,94	13,54-14,43	20,11	14,43-15,16	15,14	111,75
	16,0	11,82	15,64	43,22	15,64-14,48	18,52	14,48-15,58	30,87	15,58-16,52	22,23	16,52-17,42	16,53	123,48
90	12,0	10,86	12,67	36,94	12,67-12,03	15,83	12,03-13,08	26,39	13,08-13,87	19,00	13,87-14,37	14,41	105,55
	14,5	11,43	14,72	42,23	14,72-13,41	18,10	13,41-14,82	30,17	14,82-15,74	21,72	15,74-16,59	16,24	120,66
	16,0	12,75	16,82	46,12	16,82-17,34	19,77	17,34-17,02	32,94	17,02-17,95	23,72	17,95-18,89	17,52	131,77
102	12,0	11,84	13,80	39,74	13,80-14,55	17,03	14,55-14,95	28,39	14,95-15,78	20,44	15,78-16,44	15,41	113,55
	14,5	11,99	16,14	44,78	16,14-14,98	19,19	14,98-16,47	31,99	16,47-17,52	23,03	17,52-18,67	17,12	127,95
	16,0	13,09	18,39	48,47	18,39-18,53	20,77	18,53-18,73	34,62	18,73-19,85	24,93	19,85-20,24	18,32	138,48
114	12,0	12,19	15,92	42,10	15,92-15,55	18,04	15,55-19,93	30,07	19,93-21,49	21,65	21,49-22,84	16,24	120,29
	14,5	12,41	18,21	46,91	18,21-16,24	20,10	16,24-21,83	33,51	21,83-23,64	24,12	23,64-24,83	17,86	134,02
	16,0	12,85	20,83	50,41	20,83-17,68	21,60	17,68-22,93	36,00	22,93-24,80	25,92	24,80-26,91	18,98	144,02

* Em que: S = capacidade produtiva, q = D₃₅ = diâmetro correspondente ao percentil 35, V₁ = produção estimada até o percentil 35, d₅₀ = diâmetro correspondente ao percentil 50, V₂ = produção estimada até o percentil 50, D₇₅ = diâmetro correspondente ao percentil 75, V₃ = produção estimada até o percentil 75, D₉₃ = diâmetro correspondente ao percentil 93, V₄ = produção estimada até o percentil 93, IMM = incremento médio mensal; VT = produção total.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com a tabela de produção elaborada, é possível estabelecer a idade técnica de desbaste e de corte e planejar adequadamente as intervenções a serem feitas no povoamento.

O sistema de prognose empregado é um procedimento simples que difere dos demais por associar um modelo de povoamento total com um sistema de equações de percentis permitindo a obtenção da produção de forma segmentada. Além disso, apresenta a vantagem de permitir estudar a produção até diferentes diâmetros percentis, sendo possível, quantificar o volume existente até cada um desses diâmetros e entre eles, isto é, obter de forma segmentada o volume entre diâmetros previstos.

REFERÊNCIAS

CAMPOS, L. J. D. **Prognose por classe de diâmetro a partir de modelos do tipo povoamento total.**

1997. 57p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

CHO, M.; HAGA, N.; YAMAZONE, G. Elaboração de tabela de rendimento para *Pinus elliotti* var. Eng. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: SBS, 1982. p. 619-622.

COSTA, J. M. F. N.; CASTRO, R. V.; SOARES, T. S. Crescimento, produção e simulação de desbastes para teca (*Tectona grandis* L.f.). **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v. 7, n. 2, p. 67-75, 2016.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis.** 3 ed. New York: John Wiley e Sons, 1998. 706p.

DRESCHER, R. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn f., em povoamentos jovens de duas regiões do estado de Mato Grosso - Brasil.** 2004. 116 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

LEITE, H. G. **Ajuste de um modelo de estimação de frequência e produção por classe de diâmetro, para povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith.** 1990. 97f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. H. T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, New York, v. 33, n. 7/8, p.1105-1118, 2002.

PELLISSARI, A. L.; GUIMARÃES, P. P.; BEHLING, A.; EBLING, A. A. Cultivo da teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. **Agrarian Academy**, Dourados, v. 1, n. 1, p. 127-145, 2014.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 441p.

Júlia Melo Franco Neves Costa

Engenheira Florestal (UFVJM), Mestre em Ciência Florestal (UFV), Gestora Ambiental da Superintendência Regional de Meio Ambiente (SUPRAM) Jequitinhonha.

Renato Vinícius Oliveira Castro

Engenheiro Florestal (UFVJM), Mestre e Doutor em Ciência Florestal (UFV), Professor do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de São João del Rei.

Thelma Shirlen Soares

Engenheira Florestal (UFLA), Mestre e Doutora em Ciência Florestal (UFV), Professora do curso de Engenharia Florestal da Regional Jataí da Universidade Federal de Goiás.

Edmilson Santos Cruz

Engenheiro Florestal (UFLA), Mestre e Doutor em Engenharia Florestal (UFLA), Professor do curso de Engenharia Florestal da Regional Jataí da Universidade Federal de Goiás
