

CRESCIMENTO EM DIÂMETRO E ALTURA DA REGENERAÇÃO NATURAL DE *Eremanthus incanus*

Emanuel José Gomes de Araújo¹, Hassan Camil David², Vinícius Augusto Morais³, José Roberto Soares Scolforo⁴, Sylvio Péllico Netto⁵, Vitor Hugo Zanette⁶, Henrique Soares Koehler⁷

¹Eng. Florestal, Doutorando em Eng. Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - ejgaraujo@gmail.com

²Eng. Florestal, Mestrando em Eng. Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - hassancamil@gmail.com

³Eng. Florestal, Doutorando em Eng. Florestal, UFLA, Lavras, MG, Brasil - vemorais@gmail.com

⁴Eng. Florestal, Dr., Depto. de Ciências Florestais, UFLA, Lavras, PR, Brasil - scolforo@dcf.ufla.br

⁵Eng. Florestal, Dr., Depto. de Ciências Florestais, UFPR, Curitiba, MG, Brasil - sylviopelliconetto@gmail.com

⁶Bacharel em Matemática, Doutorando em Eng. Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - zanette@unicentro.br

⁷Eng. Florestal, Dr., Depto. de Fitotecnia e Fitossanitarismo, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - koehler@ufpr.br

Recebido para publicação: 02/04/2013 – Aceito para publicação: 05/01/2014

Resumo

A espécie *Eremanthus incanus* (Less.) Less é utilizada comercialmente para produção de estacas e moirões de cerca. Este trabalho teve como objetivo analisar o efeito de diferentes densidades iniciais no crescimento em diâmetro e altura em povoamento de *E. incanus*, proveniente de regeneração natural. Foi instalado um experimento em quatro blocos ao acaso e seis tratamentos, que correspondiam a diferentes densidades de plantas, após a realização de desbaste na regeneração. Foram testados modelos de crescimento para as variáveis diâmetro a 1,30 m do solo e altura total, além de funções densidade de probabilidade para retratar a estrutura de diâmetro e altura. Aplicou-se a análise de variância e, quando pertinente, o teste Tukey a 95% de probabilidade. O modelo de Schumacher foi o de melhor desempenho para retratar o crescimento em diâmetro e altura e o modelo S_B de Johnson o melhor para retratar a distribuição dessas variáveis. As densidades iniciais de plantas que propiciaram as maiores médias de diâmetro em todas as idades foram de 2.222, 2.667 e 3.333 plantas por hectare e para a variável altura não houve diferenças significativas entre médias dos tratamentos.

Palavras-chave: Manejo florestal; candeia; desbaste; moirões.

Abstract

Growth in diameter and height of natural regeneration of Eremanthus incanus. The species *Eremanthus incanus* (Less.) Less has commercial use for production of poles and fence posts. This research aimed to analyze the effect of different initial densities on diameter and height growth in natural regeneration stands of *Eremanthus incanus*. An experiment was conducted with four randomized blocks and six treatments per block, which corresponded to different plant densities, after applying thinning to the regeneration. Growth models were tested for the variables diameter at 1.30 m above ground and total height. In addition, probability density functions were tested to characterize the structure of diameter and height. It was applied analysis of variance and, when appropriate, the Tukey test at 5% probability. The Schumacher model was the one with best performance to characterize the growth in diameter and height, and Johnson SB model the best in order to characterize these variables. The initial densities of plants that caused the highest mean diameter throughout the ages were 2,222, 2,667 and 3,333 plants per hectare, and for the variable height there were no significant differences between the treatments averages.

Keywords: Forest management; candeia; thinning; stakes.

INTRODUÇÃO

A espécie *Eremanthus incanus* (Less.) Less. é de porte arbóreo e, quando adulta, tem altura média entre 5 e 7 m, média dos diâmetros entre 10 e 12 cm, com indivíduos que podem atingir de 20 a 25 cm. Possui tronco marrom-cinza, casca grossa e poucos galhos. Essa espécie é comum em Minas Gerais, com distribuição do Sudeste ao Nordeste do Planalto Central do Brasil (SCOLFORO *et al.*, 2008). Segundo o mesmo autor ela ocorre entre 550 e 1.100 m de altitude, no cerrado, na floresta secundária ou

na caatinga. Sua utilização é, basicamente, para produção de moirões, já que apresenta baixa produtividade do óleo alfabisabolol (SCOLFORO *et al.*, 2012).

A rusticidade das espécies do gênero *Eremanthus* é uma das vantagens de se produzi-las, pois podem ser manejadas em condições inviáveis ao cultivo de outras espécies florestais e agrícolas. Elas apresentam bom desenvolvimento em solos rasos, arenosos, pedregosos e com déficit nutricional, tornando uma alternativa viável economicamente para o cultivo em sítios desfavoráveis (SCOLFORO *et al.*, 2004; PÉREZ *et al.*, 2004; CAMOLESI *et al.*, 2010; MELO *et al.*, 2012; VIEIRA *et al.*, 2012).

O manejo de candeiais pode ser feito por meio de plantios ou condução da regeneração natural em áreas nativas. Nos dois casos o manejo bem implantado é fundamental para a manutenção da espécie. Os primeiros trabalhos realizados com candeia foram com a espécie *Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish, uma vez que, por muitos anos, ela foi explorada de forma desordenada e comprometedora à sustentabilidade das futuras gerações. Esse fato estimulou a iniciativa de vários estudos, principalmente para o estado de Minas Gerais (PÉREZ *et al.*, 2004; SCOLFORO *et al.*, 2008; ARAÚJO, 2012).

Entretanto, poucos são os trabalhos em povoamentos de *E. incanus*, seja ele plantado ou natural, onde é comum a prática do desbaste de algumas árvores para estimular, sobretudo, o crescimento em diâmetro daquelas remanescentes. No caso de povoamentos naturais, após a aplicação do manejo, a dispersão de sementes é intensa e propicia o surgimento da regeneração com alta densidade, fato que favorece a competição entre indivíduos (PÉREZ *et al.*, 2004; SOUZA *et al.*, 2007; SCOLFORO *et al.*, 2008). Assim, a realização do desbaste na regeneração reduz a competição por luminosidade e fatores do ambiente, favorecendo o crescimento das árvores remanescentes, o que é essencial para a produção.

Contudo, é importante acompanhar o crescimento em diâmetro e altura das árvores remanescentes, pois essas variáveis definirão os indivíduos viáveis e o número de moirões provenientes de cada um deles. Uma das formas de representar o crescimento de variáveis dendrométricas é por meio de modelos matemáticos, como apresentado nos trabalhos realizados por Brito *et al.* (2007) e Hess e Schneider (2009). Dois dos modelos largamente aplicados são os de Schumacher e de Chapman-Richards (CAMPOS; LEITE, 2009). Além disso, é fundamental entender a estrutura diamétrica do povoamento ao longo do tempo e como ela se comporta em diferentes condições de adensamento inicial. A distribuição diamétrica surge como um potente indicador da estrutura florestal, pois permite distinguir diferentes fases de desenvolvimento da floresta e fornece base para identificar a intensidade da regeneração natural, além de ser uma importante medida do estoque em crescimento (SCOLFORO, 2006). A melhor forma de descrever a estrutura diamétrica de uma floresta ou de uma espécie é através do emprego de Funções de Densidade Probabilística (FDP), pois permitem a obtenção da probabilidade de as árvores ocorrerem dentro de determinados intervalos de diâmetro (MACHADO *et al.*, 2010).

O objetivo do presente trabalho foi analisar o efeito da densidade inicial no crescimento em diâmetro e altura em povoamento de *E. incanus*, proveniente de regeneração natural, em Morro do Pilar, Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do experimento e obtenção dos dados

A área de estudo está localizada no município de Morro do Pilar, MG, com coordenadas centrais -19°13'50" S e -43°22'40" W. A região enquadra-se em um clima subtropical úmido, com altitude média de 760 m, temperatura média anual de 20,8 °C e precipitação média anual de 1.520 mm.

O experimento foi implantado em um candeal nativo com a espécie *E. incanus* logo após ter ocorrido fogo na vegetação, que estimulou o surgimento da regeneração natural. Nessa área, foram alocadas parcelas em um Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), composto por quatro blocos e seis tratamentos em cada um deles (Tabela 1). Os tratamentos representam as diferentes densidades de plantas remanescentes depois de efetuado o desbaste na regeneração natural, sendo que o tratamento seis (T6) representa a testemunha ou tratamento sem desbaste, por isso possui densidade de plantas variada nas quatro repetições. Os tratamentos foram implantados em parcelas de 20 x 20 m (400 m²), formando blocos de 20 x 120 m (2.400 m²). A aplicação do desbaste em cada parcela foi realizada de tal maneira que o espaçamento entre as plantas remanescentes sejam equivalentes às densidades de plantas apresentadas na tabela 1. O experimento foi dividido em blocos para verificar se o local exerce efeito sobre as variáveis dendrométricas diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) e altura total (H).

Tabela 1. Tratamentos aplicados para o experimento da *Eremanthus incanus*, em Minas Gerais.
 Table 1. Treatments applied to the *Eremanthus incanus* experiment, in Minas Gerais.

Bloco	Tratamento	Espaçamento	Nº de plantas/parcela	Nº de plantas/ha
1, 2, 3 e 4	1	1,0 x 1,5 m	267	6.667
	2	1,5 x 1,5 m	178	4.444
	3	2,0 x 1,5 m	133	3.333
	4	2,5 x 1,5 m	107	2.667
	5	3,0 x 1,5 m	89	2.222
1	6	Sem desbaste	871	21.775
2	6	Sem desbaste	506	12.650
3	6	Sem desbaste	1.045	26.125
4	6	Sem desbaste	503	12.575

Os blocos foram instalados em julho de 2002 e inicialmente fez-se o levantamento do número de plântulas por hectare para o conhecimento da densidade inicial. Em seguida, foi efetuado o desbaste para obter o número de plantas condizente a cada tratamento. No mês de agosto do mesmo ano foi realizada a primeira medição e, a partir daí, um total de 11 medições com intervalo variado entre elas. Em cada medição foi mensurado o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) e a altura total (H) dos indivíduos das parcelas com DAP \geq 3,0 cm. Aos 29 e 60 meses de idade foram efetuadas desramas com retirada de 50% da copa das plantas em todas as parcelas, exceto na testemunha.

Em função da baixa frequência de plantas com DAP superior a 3,0 cm nas idades iniciais, neste estudo foram consideradas as idades a partir de 23 meses (3ª medição) até 100 meses (11ª medição), sendo a análise estatística feita separadamente a cada medição consecutiva realizada.

Análise estatística

Foi realizada a análise de variância (ANOVA), com prévia constatação da homogeneidade das variâncias por meio do teste de Bartlett. Esse procedimento foi repetido para cada variável e idade, a fim de avaliar o efeito que os blocos e os tratamentos (densidades) exercem sobre o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) e altura total (H) em cada idade. Nas situações em que houve significância, aplicou-se o teste de médias de Tukey a 95% probabilidade.

Modelagem do crescimento

Para a avaliação do crescimento em diâmetro e altura foram ajustados modelos de crescimento comumente empregados em povoamentos florestais, utilizando a idade como variável independente (CAMPOS; LEITE, 2009; SILVA, 2009). Foram testados os modelos de Schumacher e de Chapman - Richards, expressos pelas equações (1) e (2), respectivamente, cujos coeficientes foram estimados pelo método de Marquardt.

$$Y = e^{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{I}\right)} + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$Y = \beta_0 (1 - e^{-(\beta_1 I)})^{\beta_2} + \varepsilon_i \quad (2)$$

Em que: Y = variável dependente, isto é, DAP em cm, e H em m;

e = exponencial;

β_i = coeficientes do modelo;

I = idade, em meses;

ε_i = erro aleatório.

Para cada variável, os modelos foram ajustados utilizando os dados das parcelas nas diferentes idades. A precisão das equações ajustadas foi avaliada com base nos valores de erro padrão da estimativa, em porcentagem (s_{yx} %), coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) e valor de F. A detecção de vieses (V) nos ajustes também foi feita matematicamente. As fórmulas para obtenção dessas estatísticas podem ser expressas por:

$$R^2_{aj.} = 1 - \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \right)}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2} \right] \cdot \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \quad (3)$$

$$s_{yx} \% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p}} \cdot \frac{100}{\bar{Y}} \quad (4)$$

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \cdot \frac{n-p}{p-1} \quad (5)$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n} \quad (6)$$

Em que: Y_i e \hat{Y}_i = Valor observado e estimado, respectivamente;

\bar{y} = Valor médio observado;

n e p = número de observações e parâmetros, respectivamente.

Na sequência, avaliou-se o crescimento e o incremento periódico de cada variável em função da idade. O incremento periódico em diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) e em altura total (H) foi calculado considerando um intervalo de tempo de 10 meses.

Modelagem diamétrica

Para o tratamento que propiciou melhor desenvolvimento em DAP, ao longo do tempo, também foram ajustadas as funções de densidade de probabilidade Weibull com três parâmetros e S_B de Johnson, sendo elas expressas pelas equações (7) e (8), respectivamente. Essas foram ajustadas para modelar a frequência das variáveis DAP e H.

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x-a}{b} \right)^c} \quad (7)$$

$$f(x) = \frac{\delta \cdot \lambda}{\sqrt{2\pi}(x-\varepsilon)(\lambda+\varepsilon-x)} e^{\left\{ \frac{1}{2} \left[\gamma + \delta \cdot \ln \left(\frac{x-\varepsilon}{\lambda-\varepsilon-x} \right)^2 \right] \right\}} \quad (8)$$

Em que: x = variável dependente;

e = exponencial;

π = constante “pi”;

a = parâmetro de locação;

b = parâmetro de escala;

c = parâmetro de forma;

ε = limite inferior;

λ = amplitude;

δ = assimetria;

γ = curtose da distribuição.

Para a avaliação da precisão dos ajustes aplicou-se também as estatísticas $s_{yx} \%$, $R^2_{aj.}$, e valor F . A aderência da função densidade de probabilidade ajustada aos dados foi efetuada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S), a 95% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação dos tratamentos

O teste de Bartlett apontou homogeneidade das variâncias para a variável diâmetro a 1,3 m do solo (DAP), a 95% de probabilidade, conquanto tal condição foi somente alcançada para a variável altura

mediante a transformação dos dados. Para isso, aplicou-se o inverso da tangente à décima segunda potência, para assim ser procedida a análise de variância normalmente.

Nas tabelas 2 e 3 estão apresentados os valores da estatística F provenientes da análise de variância, para verificar a existência de efeitos dos tratamentos e dos blocos na variável DAP e H, respectivamente, nas diferentes idades. Nas situações em que a análise de variância detectou efeito dos tratamentos, aplicou-se o teste Tukey, a 95% de probabilidade, e as médias seguidas de mesma letra indicam que não houve diferenças estatisticamente significativas entre elas.

Tabela 2. Análise de variância e comparação de médias dos diâmetros a 1,3 m do solo (DAP) em diferentes idades e densidades de plantas de *Eremanthus incanus*, em Minas Gerais.

Table 2. Analysis of variance and comparison of diameters averages at 1,3 m above ground (DBH), in different ages and plant densities of *Eremanthus incanus*, in Minas Gerais.

Tratamento (T)	Idade (meses)								
	23	32	46	52	61	82	88	95	100
1	3,41	3,62 bc	3,89 c	4,05 cd	4,13 cd	4,34 cd	4,39 bc	4,44 bc	4,53 bc
2	3,48	3,79 abc	4,2 bc	4,52 bc	4,67 bc	4,88 bc	5,04 ab	5,05 ab	5,12 ab
3	3,55	3,96 abc	4,68 ab	5,01 ab	5,13 ab	5,39 ab	5,46 a	5,51 a	5,57 a
4	3,56	4,00 ab	4,66 ab	4,94 ab	5,03 ab	5,41 ab	5,55 a	5,56 a	5,69 a
5	3,64	4,08 a	4,83 a	5,15 a	5,38 a	5,75 a	5,81 a	5,91 a	5,96 a
6	3,52	3,59 bc	3,77 c	3,80 d	3,81 d	3,84 d	3,87 c	3,92 c	3,99 c
F _(5;15)	1,810 ^{ns}	5,438*	17,366*	17,311*	15,453*	15,448*	12,587*	13,624*	11,628*
Média	3,53	3,84	4,34	4,58	4,69	4,93	5,02	5,07	5,14
CV(%)	2,2	5,4	10,3	12,1	13,0	14,7	14,9	14,9	14,7

Bloco	Idade (meses)								
	23	32	46	52	61	82	88	95	100
1	3,61 a	3,88	4,30 ab	4,58	4,74	4,98	5,03	5,04	5,11
2	3,50 ab	3,78	4,08 ab	4,35	4,39	4,59	4,68	4,74	4,82
3	3,41 b	3,74	4,37 a	4,57	4,69	5,03	5,13	5,20	5,27
4	3,59 ab	3,96	4,62 b	4,81	4,88	5,14	5,23	5,30	5,38
F _(3;15)	3,901*	1,930 ^{ns}	6,379*	2,961 ^{ns}	2,428 ^{ns}	2,562 ^{ns}	1,893 ^{ns}	2,147 ^{ns}	1,851 ^{ns}
Média	3,53	3,84	4,34	4,58	4,68	4,93	5,02	5,07	5,14
CV(%)	2,6	2,6	5,1	4,1	4,4	4,9	4,7	4,8	4,8

*: significativo a 95% de probabilidade; ns: não significativo; CV(%): coeficiente de variação em porcentagem. Obs.: as médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, a 95% de probabilidade.

Os resultados mostrados na tabela 2 indicam que na primeira medição, isto é, na idade de 23 meses os tratamentos não diferiram entre si, o que pode ser explicado devido as plantas não terem estabilizado em seu crescimento, pois elas são jovens e com plenas condições de desenvolvimento. Durante a fase jovem, as copas e raízes das plantas não ocupam o espaço vital como nas fases mais avançadas, assim, elas crescem em espaços abertos ou livres, e a densidade das plantas ainda não afeta seus diâmetros, conforme relatado por Davis e Johnson (1987) e Schneider e Schneider (2008). A partir dos 32 meses de idade, os valores da estatística F da análise de variância revelaram as diferenças existentes entre os tratamentos até à última medição, ou seja, aos 100 meses de idade, fase em que as plantas estão desenvolvidas e o espaçamento entre elas reflete no crescimento em diâmetro. Durante esse período, o tratamento em que não houve desbaste (testemunha) apresentou os menores valores médios. Araújo *et al.* (2012) constataram o mesmo efeito no crescimento em DAP em plantio com a espécie *E. erythropappus*. Os autores destacaram a ocorrência de maiores valores médios obtidos para tal variável como sendo pertencente aos tratamentos menos adensados, o que é justificado pela menor competição entre as árvores nessas condições.

Em relação aos blocos, o valor da estatística F apontou diferença significativa entre eles apenas nas idades de 23 e 46 meses. Isso demonstra que as médias de DAP não foram afetadas pelos locais nas idades mais avançadas, permitindo inferir sobre a homogeneidade da área para produção da *E. incanus*.

Foi constatado estatisticamente que a densidade de plantas não afetou significativamente as médias das alturas, nas idades avaliadas (Tabela 3). Esse resultado corrobora com os obtidos por Berger

et al. (2002) e Araújo et al. (2012), em que o crescimento em altura das espécies *Eremanthus erythropappus* e *Eucalyptus saligna* Smith, respectivamente, não foi influenciado pelo espaçamento.

Tabela 3. Análise de variância e médias das alturas totais (H), em diferentes idades e densidades de plantas de *Eremanthus incanus*, em Minas Gerais.

Table 3. Analysis of variance and total height averages (H), in different ages and plant densities of *Eremanthus incanus*, in Minas Gerais.

Tratamento (T)	Idade (meses)								
	23	32	46	52	61	82	88	95	100
1	2,23	2,57	2,79	2,91	2,97	3,15	3,24	3,30	3,55
2	2,29	2,61	2,90	3,04	3,14	3,33	3,46	3,50	3,60
3	2,39	2,91	3,11	3,22	3,34	3,56	3,71	3,76	3,83
4	2,41	2,72	3,03	3,11	3,26	3,40	3,53	3,52	3,62
5	2,48	2,74	3,04	3,18	3,28	3,49	3,57	3,59	3,66
6	1,83	1,99	2,20	2,32	2,62	2,74	3,08	3,27	3,47
F _(5;15)	0,347 ^{ns}	1,526 ^{ns}	2,140 ^{ns}	2,272 ^{ns}	1,912 ^{ns}	2,018 ^{ns}	1,352 ^{ns}	0,887 ^{ns}	0,280 ^{ns}
Média	2,27	2,59	2,85	2,96	3,10	3,28	3,43	3,49	3,62
CV(%)	10,3	12,2	11,8	11,2	8,8	9,1	6,7	5,2	3,3

Bloco	Idade (meses)								
	23	32	46	52	61	82	88	95	100
1	2,38	2,64	2,92	3,07	3,29	3,38	3,55	3,72	3,89
2	2,18	2,42	2,66	2,76	2,83	2,99	3,07	3,11	3,21
3	2,11	2,56	2,73	2,83	2,95	3,22	3,37	3,39	3,65
4	2,42	2,74	3,06	3,20	3,33	3,53	3,73	3,74	3,73
F _(3;15)	1,530 ^{ns}	1,426 ^{ns}	1,499 ^{ns}	1,614 ^{ns}	2,511 ^{ns}	1,478 ^{ns}	1,809 ^{ns}	2,761 ^{ns}	2,155 ^{ns}
Média	2,27	2,59	2,85	2,96	3,10	3,28	3,43	3,49	3,62
CV(%)	6,6	5,2	6,5	6,9	8,0	7,1	8,2	8,6	8,0

ns: não significativo; CV(%): coeficiente de variação em porcentagem.

Conforme tabela 3, o coeficiente de variação, em porcentagem (CV%) dos tratamentos retratou maior homogeneidade para a variável altura ao longo do tempo, atingindo 12,2% na idade de 32 meses e 3,0% aos 100 meses de idade.

Vale ressaltar que, apesar do valor da estatística F mostrar igualdade entre as médias dos tratamentos, aqueles mais adensados (tratamentos 1 e 6) apresentaram, invariavelmente, as menores médias. Isso ocorre porque o maior número de árvores dominadas ocasiona uma diminuição das alturas médias nos povoamentos mais densos, resultados também verificados por Machado et al. (2001) em *Mimosa scabrella* Bent. e Araújo et al. (2012) em plantios de *Eremanthus erythropappus*, em que, em média, notou-se redução da altura total com o aumento da densidade de plantas. No trabalho realizado por Berger et al. (2002), apesar de não existir diferenças significativas entre os tratamentos, o menor crescimento em altura pôde ser observado em consequência de o nível de competição entre os indivíduos ser mais acentuado nas idades mais avançadas.

Assim como nos tratamentos, os valores de F para os blocos não foram significativos, em todas as idades, e os valores do coeficiente de variação, em porcentagem (CV%) oscilaram ao longo das idades, além de apresentarem valores superiores àqueles referentes à variável DAP, constatando que a variável altura foi mais sensível ao fator local (Tabela 2 e Tabela 3).

Modelagem do crescimento

Após o ajuste e avaliação dos modelos de crescimento para as variáveis DAP e H, o modelo de Schumacher apresentou o melhor desempenho em todas as situações e seus respectivos coeficientes e estatísticas de ajuste estão apresentados na tabela 4. Os ajustes resultaram em coeficientes e valores F significativos a 95% de probabilidade, para todas as situações.

Os valores de erro padrão da estimativa em porcentagem (s_{yx} %) variaram, aproximadamente, de 4,7% (tratamento 4) a 11,4% (tratamento 6), para a variável DAP, e de 5,9% (tratamento 5) a 33,3% (tratamento 6), para a variável H. Os valores dos coeficientes de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) variaram de

0,04 (tratamento 6 - testemunha) a 0,90 (tratamento 4), para a variável DAP, e de 0,23 (tratamento 6 - testemunha) a 0,80 (tratamento 5), para H. Esses valores são inferiores aos obtidos por Hess; Schneider (2009) ao ajustar o modelo de Schumacher para retratar o crescimento em diâmetro e altura da espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. De maneira geral, as maiores precisões de ajustes foram obtidas nos tratamentos 3, 4 e 5 e os piores desempenhos no tratamento 6 (testemunha). A figura 1 ilustra as curvas de crescimento para as duas variáveis avaliadas, submetidas aos seis tratamentos.

Tabela 4. Coeficientes e estatísticas de precisão para o modelo de crescimento de Schumacher em diâmetro a 1,3 m do solo e altura total, em diferentes densidades de plantas de *Eremanthus incanus*, em Minas Gerais.

Table 4. Coefficients and accuracy statistics for diameter at 1.3 m above ground and total height using Schumacher growth model, at different ages and plant densities of *Eremanthus incanus*, in Minas Gerais.

Tratamento	Diâmetro a 1,3 m do solo (Dap)					
	β_0	β_1	$s_{yx}\%$	$R^2_{aj.}$	F	V
1	1,5772*	-8,8200*	7,668	0,564	48,680*	0,0001
2	1,7442*	-12,3630*	7,352	0,731	100,278*	0,0004
3	1,8595*	-14,1744*	5,322	0,872	248,433*	0,0006
4	1,8717*	-14,6682*	4,700	0,902	334,933*	0,0005
5	1,9389*	-15,8311*	7,575	0,803	148,806*	0,0008
6	1,3961*	-3,4327*	11,435	0,040	3,571*	0,0001
Tratamento	Altura total (H)					
	β_0	β_1	$s_{yx}\%$	$R^2_{aj.}$	F	V
1	1,3280*	-12,7540*	14,659	0,404	26,458*	0,0003
2	1,3869*	-13,5915*	8,938	0,685	80,307*	-0,0005
3	1,4518*	-13,4625*	7,210	0,769	122,445*	0,0013
4	1,3875*	-12,1957*	7,158	0,738	103,491*	0,0003
5	1,4007*	-12,1171*	5,914	0,803	149,388*	-0,0004
6	1,3531*	-21,3310*	33,293	0,228	11,928*	0,0017

*: significativo a 95% de probabilidade; β_i : coeficientes de ajuste.

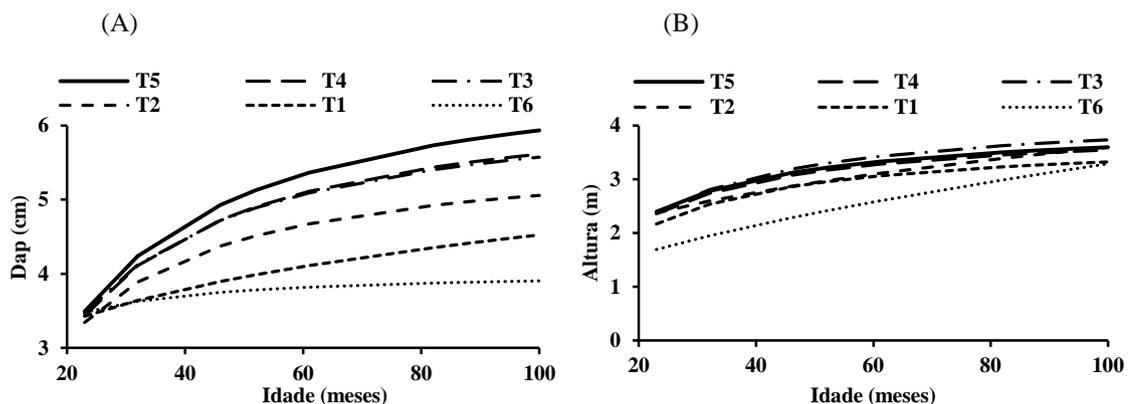


Figura 1. Curvas de crescimentos em diâmetro a 1,3 m do solo (A) e altura total (B), submetidos a diferentes densidades de plantas de *Eremanthus incanus*, em Minas Gerais.

Figure 1. Growth curves in diameter and 1.3 m above ground (A) and total height (B), under different plant densities of *Eremanthus incanus* in Minas Gerais.

Foi observado que a inclinação da curva de crescimento em DAP é mais acentuada para o tratamento 5, correspondente ao de menor densidade de plantas, e se reduz à medida em que aumenta o número de plantas por hectare. No tratamento 6 (testemunha), no qual não foi efetuado o desbaste de

plantas, foi notada uma antecipada estagnação do crescimento (Figura 1A). Nos tratamentos 3 e 4 o posicionamento da curva de crescimento em DAP foi semelhante, porém atingindo patamares mais altos. Segundo Berger *et al.* (2002) é bem conhecido que espaçamentos mais densos propiciam diâmetros menores, entretanto, em termos de produção total por área, esses apresentam maior área basal e volume por hectare, ocorrendo o contrário em maiores espaçamentos. Esses autores concluíram, nessa ocasião, que o volume comercial sem casca por hectare foi menor para os tratamentos que propiciaram maior espaço vital para as plantas.

No crescimento em H, as curvas apresentaram-se com comportamento semelhante, exceto a do tratamento mais adensado (tratamento 6), em que o crescimento em altura foi inferior (Figura 1B), conforme destacado em outros trabalhos (MACHADO *et al.*, 2001; BERGER *et al.*, 2002; ARAÚJO *et al.*, 2012).

Esses resultados mostram que o efeito da densidade de plantas é mais expressivo no crescimento em diâmetro do que em altura, sendo que a condução de 2.222 plantas por hectare apresentou ser a melhor opção de densidade para favorecer o crescimento em diâmetro da espécie *E. incanus*.

Na figura 2 estão apresentadas as curvas de Incremento Periódico (IP) para as variáveis DAP e H, considerando os diferentes tratamentos aplicados.

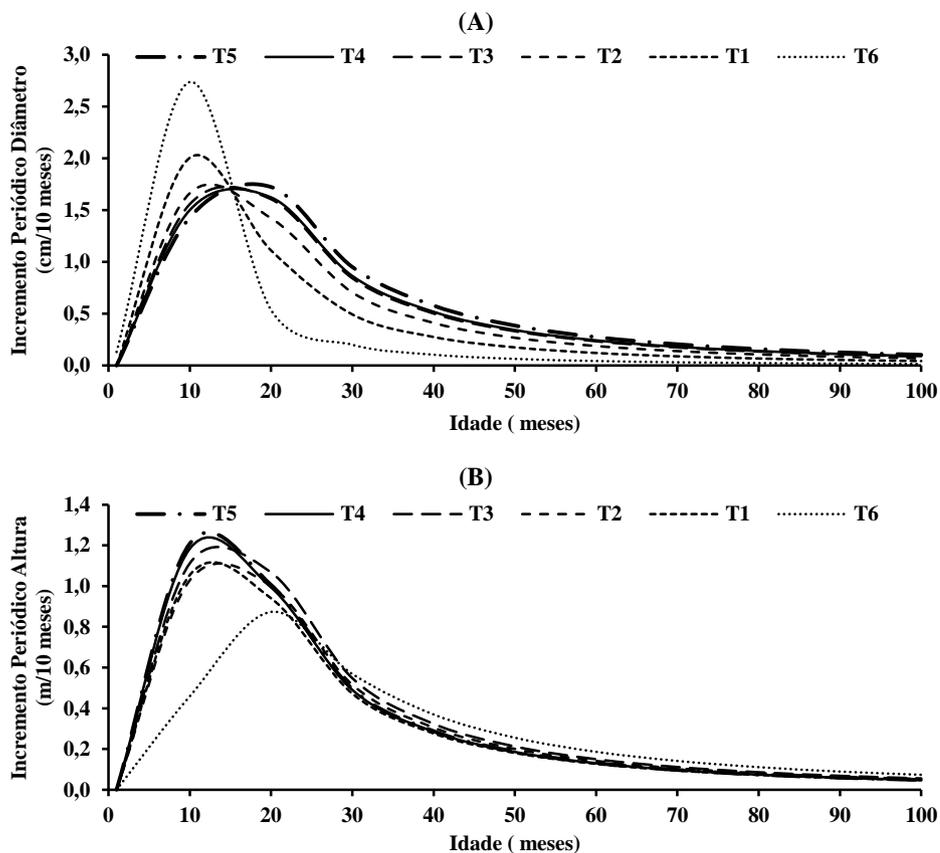


Figura 2. Curvas de Incremento Periódico (IP) para as variáveis diâmetro a 1,3 m do solo (A) e altura total (B), submetidos a diferentes densidades de plantas de *Eremanthus incanus*, em Minas Gerais.

Figure 2. Curves of Periodic Increment (IP) for the diameter at 1.3 m above ground (A) and total height (B), under different plant densities of *Eremanthus incanus* in Minas Gerais.

Para a variável DAP, o máximo incremento periódico ocorre em idades mais jovens no tratamento 6, devido à maior densidade de plantas e, conseqüentemente, a competição entre elas. A partir daí o máximo incremento periódico tende a ocorrer em idades mais avançadas à medida que se reduz a

densidade, sendo mais tardio no tratamento 5. Esse espaçamento propicia as melhores condições para as árvores desenvolverem-se em diâmetro entrando em competição mais tarde.

Quanto à variável H, também se destaca o tratamento 6 que apresentou máximo incremento periódico em idade mais avançada em relação aos demais tratamentos. Isso se deve às condições mais adensadas, em que as plantas expressam mais acentuadamente o crescimento em altura em busca de luminosidade.

Modelagem diamétrica

A tabela 5 apresenta os valores dos coeficientes e estatísticas de ajuste para a função densidade de probabilidade S_B de Johnson, uma vez que esse foi o de melhor desempenho para todas as idades, quando aplicados às variáveis DAP e H. Destaca-se que os ajustes foram realizados apenas para o tratamento 5 referente a 2.222 árvores por hectare, pois esse foi o que apresentou, de maneira geral, as melhores condições para o desenvolvimento da espécie.

Tabela 5. Parâmetros e estatísticas de ajuste para as funções densidade de probabilidade aplicadas às variáveis DAP e H, ao longo dos anos, para o tratamento 5.

Table 5. Parameters and statistics for the probability density functions applied to DBH and H, over the years for the treatment 5.

Idade	Diâmetro a 1,3 m do solo (DAP)							
	δ	λ	γ	E	$s_{yx}\%$	$R^2_{aj.}$	F	K-S
23	25,30027	61,83417	-22,75730	6,636364	6,824341	0,998363	814,2166*	0,0177 ^{ns}
32	22,66778	61,60722	-23,40210	4,159258	2,291132	0,999742	5170,184*	0,0045 ^{ns}
46	1,502260	5,964379	2,324793	-0,04786	0,098867	0,999999	914091,5*	0,0004 ^{ns}
52	1,415353	6,30464	2,242830	-0,22594	3,222667	0,997494	1329,376*	0,0083 ^{ns}
61	5,912803	65,65556	-52,21770	-12,08300	6,419400	0,987110	257,9239*	0,0115 ^{ns}
82	9,993121	58,84563	-11,14170	8,714141	4,125817	0,996789	933,2770*	0,0064 ^{ns}
88	1,275819	7,103531	2,480391	-0,194580	5,525702	0,992923	422,8972*	0,0068 ^{ns}
95	1,949074	12,62156	-2,121530	-1,422250	17,53049	0,956331	69,91012*	0,0180 ^{ns}
100	1,835435	11,07946	-0,578200	-1,018830	13,45020	0,973861	117,6872*	0,0132 ^{ns}
Idade	Altura total (H)							
	δ	λ	γ	E	$s_{yx}\%$	$R^2_{aj.}$	F	K-S
23	5,658347	34,13750	-29,0846	-14,1894	5,511123	0,997338	500,6299*	0,0191 ^{ns}
32	6,464995	35,64001	-29,8238	-15,2299	1,446311	0,999744	5204,056*	0,0063 ^{ns}
46	3,272122	40,16848	-35,5037	-10,4532	5,599182	0,993704	528,7923*	0,0079 ^{ns}
52	11,02275	42,65149	-33,5820	-20,2213	3,580735	0,998625	2181,559*	0,0057 ^{ns}
61	4,651367	41,51344	-35,9304	-13,2728	1,345214	0,999795	14634,79*	0,0017 ^{ns}
80	4,592043	34,95454	-28,9501	-11,7468	9,944134	0,990817	337,4672*	0,0152 ^{ns}
88	7,330991	41,20433	-33,3332	-15,7785	3,686563	0,998583	2194,613*	0,0054 ^{ns}
95	4,414267	50,61260	-44,7120	-13,4272	9,325389	0,991327	357,3931*	0,0207 ^{ns}
100	6,417410	43,91300	-36,5070	-15,2327	9,075934	0,990487	325,7012*	0,0105 ^{ns}

ns: não significativo a 95% de probabilidade; β_i : coeficientes de ajuste.

De acordo a tabela 5 houve aderência no ajuste do modelo S_B de Johnson aos dados de DAP e H em todas as idades, pois os valores da estatística K-S não foram significativos a 95% de probabilidade. Além disso, o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) foi superior a 0,95 em todos os casos. Quanto ao erro padrão da estimativa em porcentagem ($s_{yx}\%$), na maioria dos casos ele foi inferior a 10%, indicando que o modelo ajustado gera estimativas precisas da frequência para o DAP e H. A única exceção ocorreu para a variável DAP nas idades de 95 e 100 meses, com erro padrão igual a 17,53% e 13,45%, respectivamente. Isso pode ser atribuído à dinâmica da floresta que, ao longo do tempo, muda a forma da distribuição de suas variáveis, fato observado nas idades mais avançadas. Na figura 3 estão apresentadas as curvas de frequência estimada para as variáveis DAP (Figura 3A) e H (Figura 3B) em todas as idades.

Foi observado que a distribuição das variáveis DAP (Figura 3A) e H (Figura 3B) deslocam-se para direita ao longo do tempo, caracterizando o aumento da média. Destaque ocorreu para a variável

DAP que altera sua forma de maneira acentuada, passando de leptocúrtica para platicúrtica. Esse comportamento também foi detectado nos trabalhos realizados por Arce (2004) modelando a estrutura diamétrica de povoamentos da espécie *Populus deltoides* Marsh. e por Binoti *et al.* (2012) e por Araújo-Júnior *et al.* (2013) modelando a estrutura diamétrica de povoamentos de eucalipto.

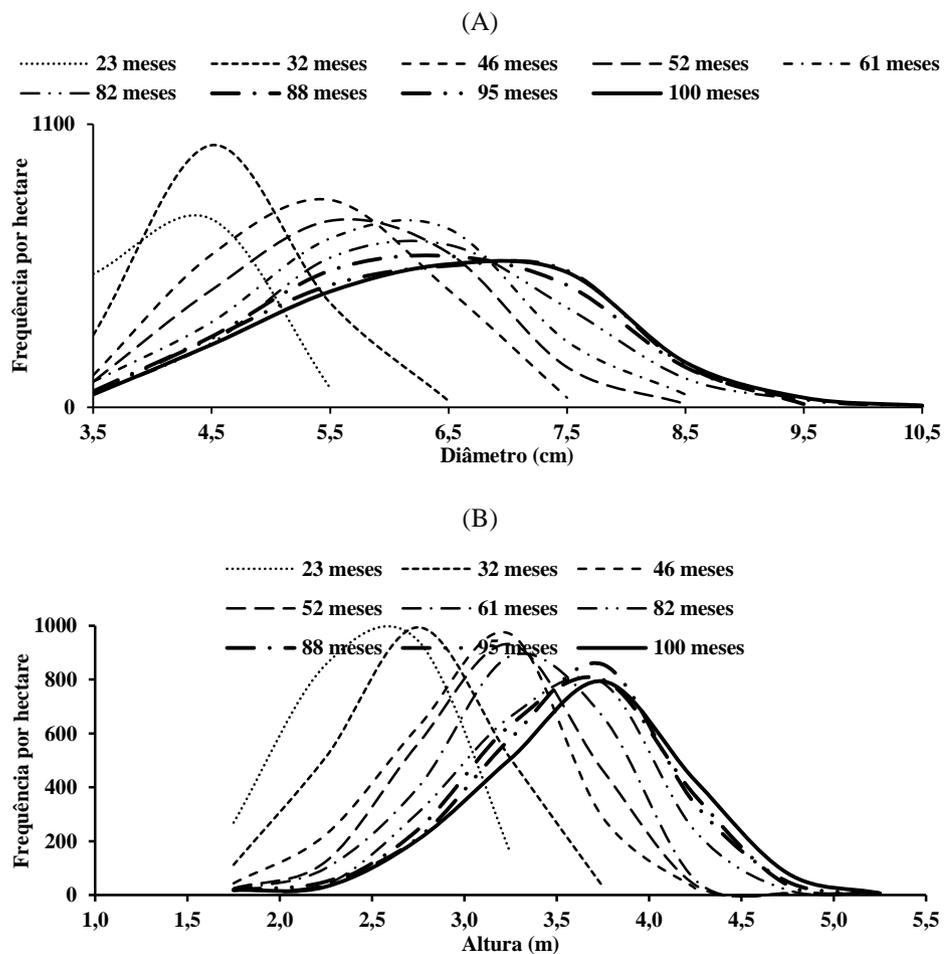


Figura 3. Distribuição de frequências de classes diamétricas (A) e classes de alturas (B), em densidade de 2.222 plantas por hectare de *Eremanthus incanus*, em Minas Gerais.

Figure 3. Frequency distribution of diameter classes (A) and height classes (B) in density of 2,222 plants per hectare of *Eremanthus incanus*, in Minas Gerais.

CONCLUSÕES

- Os modelos de Schumacher e S_B de Johnson apresentaram os melhores valores quanto às estatísticas de ajuste e podem ser utilizados com precisão para estimar o crescimento e a frequência, respectivamente, das variáveis DAP e altura total em várias idades para a espécie *E. incanus*.
- Recomenda-se a densidade inicial de 2.222 plantas por hectare, o que equivale ao espaçamento de 3,0 x 1,5 m, pois nessas condições foi obtido o melhor desempenho no crescimento em DAP e o máximo em incremento periódico é alcançado em idades mais avançadas.
- Para a variável altura total não houve diferenças significativas quanto ao seu crescimento entre os tratamentos, sendo que aquele no qual não houve desbaste foi o que apresentou a menor altura média. Consequentemente, recomenda-se o espaçamento 3,0 x 1,5 m para favorecer o desenvolvimento em altura da espécie *E. incanus*.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E. J. G. **Avaliação e análise da sustentabilidade de planos de manejo da candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish)**. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; SCOLFORO, J. R. S.; PÉLLICO NETTO, S.; MORAIS, V. A. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, p. 257 - 268, 2012.
- ARAÚJO-JÚNIOR, C. A.; LEITE, H. G.; CASTRO, R. V. O.; BINOTI, D. H. B.; ALCÂNTARA, A. E. M.; SILVA BINOTI, M. L. M. Modelagem da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto utilizando a função gama. **Cerne**, Lavras, v. 19, p. 307 - 314, 2013.
- ARCE, J. E. Modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* Marsh. através de distribuições diamétricas probabilísticas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, p. 149 - 164, 2004.
- BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, p. 75 - 87, 2002.
- BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; SILVA, A.; SANTOS, A. C. A. Modelagem da distribuição diamétrica em povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste utilizando autômatos celulares. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 36, p. 931 - 939, 2012.
- BRITO, C. C. R.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, E. S.; FERRAZ, I. Modelos de crescimento resultantes da combinação e variações dos Modelos de Chapman-Richards e Silva-Bailey aplicados em *Leucaena leucocephala* (Lam.) De wit. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, p. 175 - 185, 2007.
- CAMOLESI, J. F.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; JÚNIOR, F. W. A.; RUFINI, A. L.; MELLO, J. M. Ajuste, seleção e identidade de modelo para volume e número de moirões da candeia (*Eremanthus erythropappus*). **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 431 - 441, 2010.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 3 ed. 548 p.
- DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest management**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1987. 3 ed. 790 p.
- HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em três locais do Rio Grande do Sul. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v. 5, p. 213 - 232, 2009.
- MACHADO, S. A.; SANTOS, A. A. P.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; ZAMIN, N. T. Modelagem da Distribuição Diamétrica de Quatro Espécies de Lauraceae em um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 12, p. 91 - 105, 2010.
- MACHADO, S. A.; TONON, A. E. N.; OLIVEIRA, E. B.; FILHO, A. F.; CARPANEZZI, A. A. Efeitos da densidade inicial e do sítio sobre o desenvolvimento de bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba. **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 43, p. 19 - 46. 2001.
- MELO, L. A.; DAVIDE, A. C.; TEIXEIRA, L. A. F. Metodologia para resgate de matrizes e enraizamento de estacas de *Eremanthus erythropappus*. **Cerne**, Lavras, v. 18, p. 631 - 638, 2012.
- PÉREZ, J. F. M.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; BORGES, L. F. R.; CAMOSEL, J. F. Sistema de manejo para candeia - *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish – a opção do sistema de corte seletivo. **Cerne**, Lavras, v. 10, p. 257 - 273, 2004.

- SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 2 ed. 566 p.
- SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: Modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras. UFLA/FAEPE, 2006. 393 p.
- SCOLFORO, J. R. S. OLIVEIRA, A. D.; DAVIDE, A. C.; SILVA, C. P. C.; ANDRADE, I. S. CAMOLESI, J. F.; BORGES, L. F. R.; PAVAN, V. M. M. **O manejo da candeia nativa**. Lavras: Editora UFLA, 2008. 44 p.
- SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; DAVIDE, A. C. **O manejo sustentável da candeia: o caminhar de uma nova experiência florestal em Minas Gerais**. Lavras, Editora: UFLA, 2012. 329 p.
- SCOLFORO, J. R. S.; PÉREZ, J. F. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D.; CAMOLESI, J. F.; BORGES, L. F. R.; ACERBI JUNIOR, F. W. Estimativas de volume, peso seco, peso de óleo e quantidade de moirões para a candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish). **Cerne**, Lavras, v. 10, p. 87 - 102, 2004.
- SILVA, C. P. C. **Crescimento e produção da candeia em plantio sujeito a diferentes espaçamentos e podas**. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- SOUZA, A. L; OLIVEIRA, M. L R; SILVA, E. F; COELHO, D. J. S. Caracterização fitossociológica em áreas de ocorrência natural de candeia (*Eremanthus erythropappus* (d.c.) macleish). **Árvore**, Viçosa, v.31, p. 667 - 677, 2007.
- VIEIRA, F. A.; FAJARDO, C. G.; CARVALHO, D. Floral biology of candeia (*Eremanthus erythropappus*, Asteraceae). **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, p. 477 - 481, 2012.