

Alocação de Biomassa e Ajuste de Equações para Estimativa de Biomassa em Compartimentos Aéreos de *Eucalyptus benthamii*

*Helton Damim da Silva*¹

*Carlos Alberto Ferreira*²

*Robson Schaff Corrêa*³

*Antonio Francisco Jurado Bellote*⁴

*Elson Luiz Tussolini*⁵

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar os resultados do ajuste de modelos para determinação da biomassa seca de compartimentos aéreos e a alocação percentual de biomassa nos compartimentos madeira, casca, folhas e galhos em árvores de *Eucalyptus benthamii* de 12, 24, 36 e 48 meses de idade e plantios com espaçamento 3 m x 2 m, no município de Guarapuava-PR. Para os compartimentos considerados, o modelo logarítmico generalizado foi de melhor índice de ajuste para a variável galho e, juntamente com o modelo variável, combinada logarítmica, o de menor erro para casca. Com relação aos compartimentos folha e madeira, foi mais adequado o uso do modelo $\ln Y = b_0 + b_1 * \ln DAP$ e variável combinada logarítmica, respectivamente. A alocação de biomassa foi diferenciada para cada idade. Na idade de 12 meses, o compartimento folhas acumulou maior percentual de biomassa, já na idade de 48 meses, o compartimento madeira ficou com grande percentual da biomassa. A alocação proporcional de biomassa obtida, respectivamente, para madeira, casca, galhos e folhas, foi de 33, 3, 29 e 35% para a idade de 24 meses, 51, 5, 25 e 19% para a idade de 24 meses, 63, 5, 18 e 14% para a idade de 36 meses e de 71, 7, 15 e 7% para a idade de 48 meses.

Palavras-chave: idade, modelos, variável.

¹ Engenheiro Florestal, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. helton@cnpf.embrapa.br

² Engenheiro-Agrônomo, Ph.D. Pesquisador da *Embrapa Florestas*. calberto@cnpf.embrapa.br

³ Engenheiro Florestal

⁴ Engenheiro Florestal, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. bellote@cnpf.embrapa.br

⁵ Coordenador do Departamento Florestal - Cooperativa Agrária Mista Entre Rios - Guarapuava-PR.

Equations for Estimating Biomass of Aerial Compartments of *Eucalyptus benthamii* Trees

ABSTRACT

This paper presents the results of the adjustment of equations for estimating biomass of aerial compartments of *Eucalyptus benthamii* trees. The percentile allocation of biomass, in the compartments wood, bark, leaves and branches is also presented. The trees of *Eucalyptus benthamii* were sampled from stands of 12, 24, 36 and 48 months of age, planted at the spacing 3 m x 2 m, in the region of Guarapuava-PR. For the compartments considered, the generalized logarithmic model gave better indices of adjustment for branches and, together with logarithmic combined variable, the minor error for bark variable. Leaves and wood had minor error with model $\ln Y = b_0 + b_1 * \ln DBH$ and logarithmic combined variable, respectively. The allocation of biomass in the different compartments was differentiated for each age. In the age of 12 months the greater percentile of biomass was in the leaves. However in the age of 48 months, wood had the greater percentage of biomass. The biomass allocation had the following ratios, respectively, for wood, bark, branches and leaves, 33, 3, 29 and 35% for the age of 24 months, 51, 5, 25 and 19% for the age of 24 months, 63, 5, 18 and 14% for the age of 36 months and 71, 7, 15 and 7% for the age of 48 months.

Key words: age, model, variable.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil conta com aproximadamente 4,8 milhões de hectares de florestas plantadas com pinus, eucalipto e acácia-negra (MEDRADO, 2002). O eucalipto é o gênero mais plantado, sendo que em 2000, a área plantada com espécies do gênero era de 2.965.880 hectares (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, 2004). Deve-se ressaltar que parte desta área situa-se em locais de ocorrência de geadas.

Há diversas espécies indicadas para estas regiões, como *E. viminalis*, *E. dunnii* e *E. badjensis* (HIGA et al., 2000). E há outras ainda pouco conhecidas em nosso país, como o *E. benthamii*, entre as mais promissoras.

Na Austrália, *E. benthamii* é conhecido como Camden White Gum e é uma espécie ameaçada de extinção, ocorrendo somente em duas populações pouco extensas. A maior delas está localizada num vale no Blue Mountains National Park e a outra consideravelmente menor, é composta por árvores remanescentes dispersas ao longo do rio Nepean, à oeste de Sidney. Este último povoamento está em risco de desaparecer, pois, nos últimos anos, um grande número de indivíduos tem sido eliminado por inundação, morte natural e pela agricultura ou urbanização. As árvores ao longo do rio estão isoladas ou em pequenos grupos de árvores aparentadas, favorecendo a endogamia (GARDINER, 2002).

Segundo Higa et al. (2000), o *Eucalyptus benthamii* é indicado para áreas com geadas severas, apresentando bom crescimento, porém a qualidade da madeira ainda é pouco conhecida. Há dificuldade de obtenção de sementes suficientes para plantios comerciais. A espécie é adequada à produção de lenha, carvão, estacas, postes e moirões, porém não é recomendada para fins de serraria.

Em testes de seleção de espécies na província de Hunan (China), onde registram-se médias de temperaturas mínimas do mês mais frio de 3 a 8°C e temperaturas mínimas absolutas ao redor de -6 a -10°C, o *E. benthamii* foi considerado como especialmente indicado para maior número de testes, já que aos 15 meses de plantio, ficou entre as espécies de melhor adaptação e desenvolvimento (MUJIU et al., 2003). Resultados semelhantes foram

relatados por Hesheng et al. (2003), tendo o *E. benthamii* tolerado temperatura mínima de -8°C , seguido de 7 dias com temperaturas abaixo de 0°C .

Conforme Graça et al. (1999), ocorreu no ano de 1988, no município de Colombo-PR, um dos primeiros plantios com *E. benthamii* no Brasil. Tal povoamento provém de famílias misturadas de dez matrizes da procedência Wentworth, NSW (Austrália) e tem mostrado alta resistência à geadas, rápido crescimento, boa forma de fuste e homogeneidade, o que o indica como opção para áreas de geadas freqüentes e severas no sul do Brasil.

A obtenção de pesos individuais de árvores, para o cálculo da retirada de nutrientes ocasionada pela colheita florestal, é sumamente importante para a determinação da necessidade de reposição de nutrientes e para a orientação do manejo, visando a sustentabilidade da produtividade nos plantios florestais (FERREIRA & MARTINS, 2004).

Este trabalho tem por finalidade avaliar a alocação de biomassa em árvores de um dos primeiros plantios comerciais desta espécie no país em função da idade; estabelecer, ainda, modelos alométricos para estimar a produtividade em madeira e biomassa dos diversos compartimentos das árvores, fornecendo subsídios para um melhor conhecimento da espécie.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em um povoamento de *E. benthamii* originado de mudas com espaçamento de plantio de 3 m x 2 m da Cooperativa Agrícola Agrária Ltda., localizado no município de Guarapuava-PR, cujas coordenadas são $25^{\circ} 23' 36''$ de latitude sul e $51^{\circ} 27' 19''$ de longitude oeste, inserido na região centro-sul do estado, sua altitude média é de 1120 m. O clima é subtropical úmido mesotérmico, com temperatura média anual em torno de 16°C , ocorrem geadas severas e freqüentes e não há estação seca, a precipitação média anual está em torno de 1900 mm e é uniforme.

A adubação efetuada em todos os plantios, nas quatro idades avaliadas, foi N:P:K - 5:25:20, aplicados na cova, na dosagem de 150 g por planta.

A coleta de dados foi realizada em talhões com 12, 24, 36 e 48 meses de idade, onde foram medidos o diâmetro, a altura do peito (DAP), a altura e a biomassa estocada nas folhas, galhos, casca e madeira.

Foram selecionadas e abatidas três árvores, por idade, com DAP médio, representativo das árvores dominantes da população. Das árvores abatidas efetuou-se medições de DAP e altura total, após, procedeu-se a coleta de amostras do tronco, galhos e folhas. Coletou-se também amostras de cada compartimento (lenho, casca, folhas e galhos), para determinação da biomassa e densidade de cada compartimento.

De cada uma destas árvores foi determinado o volume total com base em cubagem rigorosa segundo o método Smalian, descrito por Finger (1992). Os discos foram retirados de cada segmento do tronco, à partir da base, de 1 em 1 m, considerando o DAP, até o diâmetro mínimo de 4 cm. Estes foram medidos, secos e pesados individualmente para determinação do peso de cada compartimento, segundo procedimento a seguir descrito. No laboratório, foram medidos os diâmetros com e sem casca dos discos do tronco para a determinação do volume com e sem casca. Após, foram retiradas amostras de madeira (alburno) e casca, separou-se os componentes, e feitas as pesagens necessárias para a determinação da densidade básica. O peso de cada segmento foi calculado com base nos volumes e nas densidades de cada componente (casca e alburno).

Também foram retiradas as folhas, das quais obteve-se o peso fresco total e o peso fresco da amostra para determinação da massa seca. Para amostragem do compartimento galhos, não foi retirada a casca e foram coletados apenas os galhos vivos, obteve-se o peso fresco total e da amostra para determinação da massa seca.

Todos os componentes amostrados (folhas, galhos, madeira e casca) foram secos em estufa de circulação e renovação forçada de ar (a 60°C) para a determinação de peso seco dos componentes amostrados.

Foram utilizados modelos alométricos para estimar a matéria seca individual de cada componente, utilizando como variáveis independentes o diâmetro, a altura do peito (DAP), a altura total (H) e a variável combinada DAP^2H (Tabela 1).

Tabela 1. modelos alométricos utilizados, com respectivo nome e fonte consultadas.

Modelos	Nome	Fonte
$\ln Y = b_0 + b_1 * \ln(DAP^2 H)$	variável combinada logarítmica	modificado de Spurr citado por Finger (1992)
$\ln Y = b_0 + b_1 * \ln H$		modificado de Loestsch et al. citado por Finger (1992)
$\ln Y = b_0 + b_1 * \ln DAP$		modificado de Loestsch et al. citado por Finger (1992)
$Y = b_0 * DAP^{b_1} * H^{b_2}$	logarítmico generalizado	Newnham citado por Clutter et al. (1983)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, são apresentadas as proporções de madeira, casca, galhos e folhas de *E. benthamii* por idade até os 48 meses. A variação da alocação de biomassa ao longo da idade acompanha a tendência geral observada para diversas espécies. Assim, os componentes madeira e casca aumentaram sua proporção e galhos e folhas diminuíram, em função do aumento da idade.

Tabela 2. Proporção de madeira, casca, galhos e folhas em relação à biomassa total aérea de *E. benthamii* nas idades de 12, 24, 36 e 48 meses.

Idade (meses)	Proporção em relação ao peso da parte aérea (%)			
	Madeira	Casca	Galhos	Folhas
12	33,1	3,2	28,9	34,8
24	51,0	4,8	25,2	19,0
36	62,7	5,4	17,9	14,0
48	70,4	7,3	15,2	7,1

A alocação de biomassa também depende da espécie considerada, mesmo dentro do mesmo gênero. Por exemplo, em *E. globulus* subespécie *bicostata*, com idade de 4 anos e espaçamento de 3m x 2 m, em plantio localizado em solo de baixa fertilidade, no município de Butiá-RS, os valores encontrados para biomassa alocada nos componentes madeira, casca, galhos e folhas, foram de 63,3; 9,4; 12,7 e 14,6%, respectivamente (SCHUMACHER, 1998). Portanto, há maior alocação de biomassa para o componente madeira na espécie estudada neste experimento. Porém, comparando com *E. camaldulensis* aos 52 meses de idade e mesmo espaçamento estudado neste trabalho, no estado de Minas Gerais, nota-se uma aparente menor alocação de biomassa para o componente madeira em *E. benthamii* e maior alocação de biomassa nos galhos. *E. camaldulensis* apresentou 76,1; 7,3; 8,8 e 7,7% de alocação em madeira, casca, galhos e folhas, respectivamente (LELES et al., 2001). Estes dados demonstram a necessidade de estudos particularizados para cada espécie.

Em estudo sobre a produção de biomassa e remoção de nutrientes em três espécies de eucaliptos (*E. camaldulensis*, *E. grandis* e *E. torelliana*) com 9; 9 e 12 anos de idade, respectivamente, em Anhembi-SP, Schumacher & Poggiani (1993) constataram que a madeira representou mais de 80% da biomassa acima do solo.

Nota-se uma tendência de aumento na proporção de alocação de biomassa na madeira de *E. benthamii*, o que indica que a espécie poderá destinar maior taxa de biomassa a este compartimento, em idades mais elevadas, este fato deve ser considerado para opções de manejo da espécie (Figura 1).

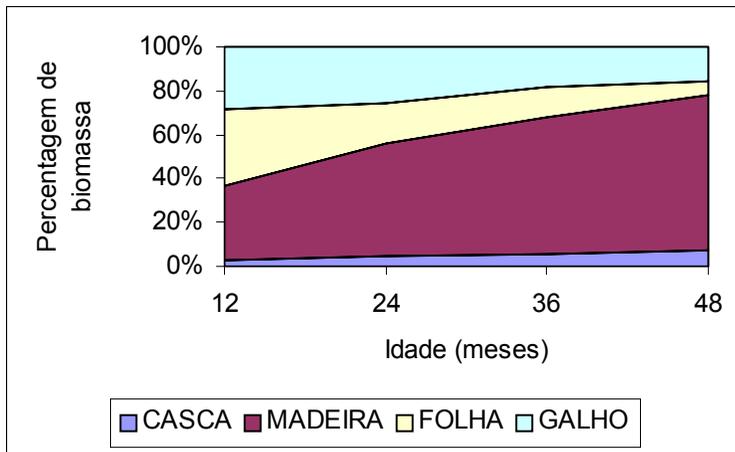


Figura 1. Percentagem de alocação de biomassa ao longo de diferentes idades de *E. benthamii* em Guarapuava-PR

Na Tabela 3, encontram-se as equações obtidas, cujos modelos originais já foram utilizados em outros trabalhos, assim como indicadores da precisão do ajuste das equações aos dados e a dispersão dos pontos. Os indicadores foram o coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão de estimativa (Syx) e o coeficiente de variação (CV%), ambos descritos em Finger (1992). Embora o coeficiente de determinação seja inadequado para comparar dois modelos distintos, este foi mantido por ser muitas vezes apresentado e por, representar a proporção de variação total explicada pelo modelo considerado (FINGER, 1992).

Tabela 3. Equações utilizadas e índices de ajuste (R^2 e S_{yx}) e dispersão de pontos (CV%) para estimativas de peso individual dos componentes madeira, casca, galho e folha nas idades de 1, 2, 3 e 4 anos em povoamento de *E. benthamii*.

Compartimento	Equação	R^2	S_{yx}	CV%
Madeira	$\ln Y = -5,95150 + 1,18123 * \ln(DAP^2H)$	0,996	2,84	108,75
	$\ln Y = -5,04451 + 3,19039 * \ln H$	0,988	4,67	
	$\ln Y = -6,52533 + 3,76370 * \ln DAP$	0,997	3,24	
	$Y = 0,00232 * DAP^{2,65212} * H^{0,93626}$	0,996	2,96	
Casca	$\ln Y = -9,24260 + 1,29484 * \ln(DAP^2H)$	0,997	0,25	114,68
	$\ln Y = -8,35291 + 3,53205 * \ln H$	0,988	0,48	
	$\ln Y = -9,80849 + 4,10422 * \ln DAP$	0,996	0,27	
	$Y = 0,00008 * DAP^{3,14604} * H^{0,81764}$	0,997	0,25	
Galho	$\ln Y = -3,49676 + 0,73352 * \ln(DAP^2H)$	0,901	2,67	81,84
	$\ln Y = -2,63593 + 1,87766 * \ln H$	0,867	3,09	
	$\ln Y = -4,01839 + 2,39556 * \ln DAP$	0,915	2,47	
	$Y = 0,00674 * DAP^{4,23309} * H^{1,47207}$	0,927	2,41	
Folha	$\ln Y = -1,10835 + 0,38377 * \ln(DAP^2H)$	0,911	1,06	56,33
	$\ln Y = -0,82436 + 1,04062 * \ln H$	0,898	1,14	
	$\ln Y = -1,26093 + 1,21046 * \ln DAP$	0,913	1,05	
	$Y = 0,28780 * DAP^{1,16402} * H^{0,04046}$	0,913	1,11	

Onde: Y = peso seco do compartimento, em Kg; DAP = diâmetro à altura do peito (1,3m), em cm; H = altura total, em m.

Nota-se ainda que os coeficientes de variação foram altos quando comparados a outros trabalhos, como os de Ladeira et al. (2001), que utilizaram 9 árvores para cada uma das 3 espécies analisadas aos 84 meses de idade, e de Schumacher (1998), que também usou dados de 9 árvores aos 4 anos de idade para a espécie considerada. Deve-se considerar que os dados aqui utilizados foram obtidos em 4 idades e de 3 árvores amostradas por idade, perfazendo um total de 12 árvores, justificando a alta dispersão expressa pelos coeficientes de variação.

De acordo com a Tabela 4, é possível verificar que não foi possível obter um único modelo para estimar os compartimentos considerados. Para a variável madeira, o modelo variável combinada logarítmica foi o de menor erro, portanto, mais adequado. Com relação a variável casca, os modelos variável combinada logarítmica e logarítmico generalizado obtiveram mesmo S_{yx} , e portanto, ambos foram adequados. O modelo logarítmico generalizado obteve o menor índice de erro para a variável galho. A variável folha apresentou maior ajuste com o modelo $\ln Y = b_0 + b_1 * \ln DAP$.

Tabela 4. Inclusão da variável idade no modelo logarítmico generalizado, para estimativas de peso individual dos componentes madeira, casca, galho e folha nas idades de 1, 2, 3 e 4 anos em povoamento de *E. benthamii*.

Compartimento	Equação	R ²	S _{yx}
Madeira	$\ln Y = -5,44630 + 1,40595 * \ln(DAP^2H) - 0,65004 * \ln(I)$	0,997	2,52
Casca	$\ln Y = -8,78716 + 1,46085 * \ln(DAP^2H) - 0,50165 * \ln(I)$	0,997	0,24
	$Y = 0,00013 * DAP^{3,13604} * H^{1,20554} * I^{-0,42041}$	0,997	0,25
Galho	$Y = 0,00501 * DAP^{4,35817} * H^{-1,80628} * I^{0,24227}$	0,927	2,56
Folha	$\ln Y = -1,12362 + 1,45144 * \ln DAP - 0,22035 * \ln(I)$	0,915	1,10

Onde: Y = peso seco do compartimento, em Kg; DAP = diâmetro à altura do peito (1,3m), em cm; H = altura total, em m; I = idade, em meses.

A inclusão da variável idade traz diferentes conseqüências ao indicador S_{yx} , que melhorou para madeira e casca (modelo variável combinada logarítmica); piorou para galho e folha e; não alterou o índice para casca (modelo logarítmico generalizado) (Tabela 4). Ao utilizar modelos onde considera-se apenas a idade, como o polinômio de terceiro grau e a função de Backman (FINGER, 1992), o erro padrão de estimativa resultou valores maiores que seis, não justificando seu uso.

4. CONCLUSÕES

Os melhores ajustes para os compartimentos madeira, casca, galhos e folhas foram obtidos com diferentes modelos. Para a variável madeira, o menor erro foi obtido com o modelo variável combinada logarítmica, este mesmo modelo, junto com o modelo logarítmico generalizado, foram os mais adequados para a variável casca. A variável galho obteve menor erro com o modelo logarítmico generalizado e o compartimento folha adequou-se melhor a função $\ln Y = b_0 + b_1 * \ln DAP$.

A inclusão da variável idade nos modelos resultou em menor erro para as variáveis madeira e casca (com o modelo variável combinada logarítmica), maior erro para os compartimentos folha e galho e, igual erro para o modelo logarítmico generalizado aplicado à variável casca. Ao testar modelos onde idade é considerado como variável independente, houve maior imprecisão em relação aos modelos anteriormente citados.

A alocação de biomassa foi diferenciada para cada idade considerada (12, 24, 36 e 48 meses). O compartimento madeira passou a assumir mais da metade da biomassa a partir dos 24 meses de idade e apresenta tendência de aumento no futuro em relação aos demais compartimentos. A comparação com outras espécies do gênero *Eucalyptus* mostra a necessidade de estudos particularizados para cada espécie com relação à alocação de biomassa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber management: a quantitative approach**. New York: J. Wiley, 1983. 333 p.

FERREIRA, C. A.; MARTINS, E. G. Equações para cálculo do volume e peso de compartimentos aéreos de árvores de *Grevillea robusta* (Cunn.) aos sete anos de idade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 49, jul./dez. 2004. No prelo.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1992. 269 p.

GARDINER, C. Genetic research for conservation of camden white gum. **Australian Tree Resources News**, n. 7, Jun. 2002. Disponível em: <<http://www.ffp.csiro.au/tigr/atrnews/index.htm>>. Acesso em: 13 set. 2004.

GRAÇA, M. E.; SHIMIZU, J. Y.; TAVARES, F. R. Capacidade de rebrota e de enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 135-138, jul./dez. 1999.

HESHENG, L.; JINGQING, Q.; GUOYANG, X.; DELONG, H.; SHIRONG, Z.; WENGE, L. Review of cold-tolerant Eucalyptus improvement in Fujian Province. In: TURNBULL, J. W. (Ed.). **Eucalypts in Asia**: proceedings of a international conference held in Zhanjiang, Guangdong, peoples ´s Republic of china, 7-11 april 2003. Canberra: ACIAR, 2003. p. 117-122. (ACIAR. Proceedings, 111).

HIGA, R. C. V.; MORA, A. L.; HIGA, A. R. **Plantio de eucalipto na pequena propriedade rural**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 31 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 54).

LADEIRA, B. C.; REIS, G. G. dos; REIS, M. das G. F.; BARROS, N. F. de. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos, em uma seqüência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n.1, p. 69-78, 2001.

LELES, P. S. dos S.; REIS, G. G. dos; REIS, M. das G. F.; MORAIS, E. J. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 77-87, jun. 2001.

MEDRADO, M. J. S. Importância socioeconômica e ambiental. In: SILVA, H. D. da (Org.). **Cultivo do eucalipto**. 2002. (Embrapa Florestas. Sistemas de produção, 4). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/index.htm>>. Acesso em: 10 set. 2004.

MUJIU, L.; ARNOLD, R.; BOHAI, L.; MINSHENG, Y. **Selection of cold-tolerant eucalypts for Hunan province.** In: TURNBULL, J. W. (Ed.). **Eucalypts in Asia: proceedings of a international conference held in Zhanjiang, Guangdong, peoples ´s Republicc of china, 7-11 april 2003.** Canberra: ACIAR, 2003. p. 107-116. (ACIAR. Proceedings, 111).

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi-SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 21-34, 1993.

SCHUMACHER, M. V. Estudo da biomassa e dos nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) subespécie *bicostata*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 281-286, 1998.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Área plantada com pinus e eucaliptos no Brasil (ha) – 2000.** Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>>. Acesso em: 15 set. 2004.