

Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos

Daniel H. B. Binoti¹, Mayra L. M. da S. Binoti², Hélio G. Leite¹ & Antonilmar Silva³

¹ Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Florestal, Avenida Ph Rolfs, s/n, Campus UFV, CEP 36570-000, Viçosa-MG, Brasil. E-mail: danielhbbinoti@gmail.com; hgleite@gmail.com

² Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Departamento de Engenharia Florestal, Rodovia MGT367, Km 583, 5000, Alto da Jacuba, CEP 39100-000, Diamantina-MG, Brasil. E-mail: MayraBinoti@gmail.com

³ Cenibra. Rodovia BR 381 – km 172 - Distrito de Perpétuo Socorro Cep.: 35.196-000, Belo Oriente. E-mail: antonilmar.silva@cenibra.com.br

RESUMO

Os custos para a realização do inventário florestal em plantios equiâneos são bastante significativos, razão por que se objetivou, neste estudo, propor, construir e validar um modelo de estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto empregando-se redes neurais artificiais (RNA); para isto, utilizaram-se dados de 1870 árvores mensuradas na região do sul da Bahia. Foram treinadas RNA para diferentes percentagens de redução das medições das alturas (90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20 e 10%) das parcelas. A aplicação da metodologia permite reduzir consideravelmente o custo para a realização de um inventário florestal, sem depreciação significativa das estimativas.

Palavras-chave: altura, eucalipto, mensuração florestal

Reduction in inventory costs in even-aged stand

ABSTRACT

The cost for the inventory of even-aged forest is significant, therefore the objective of this study was to develop, build and validate a model to estimate the height of even-aged stands of eucalyptus using artificial neural networks (ANN). Data from 1870 trees measured in the Southern region of Bahia was used. ANN were trained for different percentages of measurements of heights (90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20 and 10%) of the plots. The methodology allows to reduce considerably the cost to conduct a forest inventory, without significant depreciation of the estimates.

Key words: height, Eucalyptus, forest measurement

INTRODUÇÃO

A exatidão das estimativas de volume de parcelas de inventário florestal depende, entre outros, da qualidade das estimativas obtidas em nível de árvores. As medições de diâmetros e alturas de árvores individuais são comumente aplicadas para obtenção de estimativas do estoque de crescimento e para a realização de análises de viabilidade econômica. Diâmetros podem ser medidos facilmente com custos relativamente baixos; contudo, as medições de altura são demoradas, muitas vezes imprecisas, e relativamente de difícil aferição em plantios densos. Assim, as alturas são derivadas indiretamente dos diâmetros, utilizando-se uma relação conhecida ou estimada entre os diâmetros e alturas (Van Laar & Akça, 1997; Campos & Leite, 2009).

A relação entre os diâmetros e as alturas pode ser descrita por meio de uma relação hipsométrica ou uma distribuição de altura-diâmetro bivariada. Na prática, os diâmetros de todas as árvores das parcelas são medidos e uma subamostragem é feita para estimação das alturas. As alturas amostradas são então utilizadas para o ajuste de regressões hipsométricas que, por sua vez, são usadas para estimação da altura das outras árvores na parcela (Arabatizis & Burkhart, 1992; Campos & Leite, 2009). Estudos sobre modelos, procedimentos e equipamentos para a mensuração da altura de árvores são importantes visto que a medição da altura das árvores é considerada um componente significativo no custo do inventário florestal (Leite & Andrade, 2004).

Uma abordagem para modelagem da relação hipsométrica consiste no uso de redes neurais artificiais (RNA). Essas redes são sistemas computacionais paralelos constituídos por unidades de processamento simples, também denominadas neurônios artificiais ou nodos, conectadas entre si de maneira específica para desempenhar determinada tarefa (Binoti, 2010). Os neurônios artificiais são modelos matemáticos simplificados dos neurônios biológicos e processam as informações recebidas e ponderadas por pesos sinápticos fornecendo uma única resposta (Haykin, 2001; Braga et al., 2007).

Visando reduzir o custo dos inventários florestais, este estudo foi conduzido com o objetivo de propor, construir e validar um modelo de estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto, empregando-se redes neurais artificiais.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados

Os dados utilizados neste estudo foram provenientes de medições de inventários florestais contínuos conduzidos em povoamentos de um clone de eucalipto, localizados no Sul da Bahia, Brasil, em uma área de cerca de 2.000 ha, distribuídos em cinco tipos de solo; apenas um clone foi utilizado no estudo compreendendo 1.870 árvores em 91 parcelas permanentes, com sete medições.

A altura das árvores (H) foi estimada em função das seguintes variáveis: diâmetro com casca a 1,3 m (DAP) em cm, da altura dominante média da parcela (Hd) em m e da idade (I) em meses, cujas principais características descritivas foram apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Análise descritiva das características do povoamento

	Mínimo	Média	Máximo	Desvio padrão
Idade (meses)	21	62	114	± 25
dap (cm)	5,1	15,4	28,3	± 4,1
Altura dominante (m)	8,6	24,8	35,8	± 5,8
Altura (m)	7,7	22,9	36,0	± 5,5

Treinamento e Avaliação das RNA

A fase de treinamento e avaliação foi iniciada com a simulação na quantidade de parcelas sem alturas medidas. Este número foi reduzido gradativamente com o sorteio seguindo-se as proporções: 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20 e 10% das parcelas para treinamento das redes neurais artificiais e os dados restante: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90%, respectivamente, foram utilizados para a generalização, ou seja, para avaliar a capacidade de estimação das redes para dados desconhecidos. Desta maneira ocorreram normalmente, nas parcelas do conjunto de treinamento, as medições de todos os dap, das alturas dominantes e da altura das 7 primeiras árvores da parcela, enquanto nas parcelas do conjunto de generalização se omitiram as medições das alturas.

As redes neurais artificiais (RNA) treinadas foram do tipo multilayer perceptron (MLP) ou perceptron de múltiplas camadas, com uma camada de entrada que recebe os valores de entrada (dap, Hd e I) e as transfere ponderadas por pesos sinápticos à camada intermediária ou oculta que aplica transformações matemáticas e as transfere para a camada de saída que, por sua vez, fornece a resposta da rede (estimativa da H); neste processo foram treinadas 50 redes para cada proporção de parcelas e a melhor rede (para cada proporção) em termos dos índices de treinamento e da correlação, foi aplicada aos dados de generalização; as estimativas das alturas totais das árvores foram avaliadas com base na correlação entre valores estimados e observados, nos gráficos de erros percentuais, em função dos valores observados e das frequências percentuais dos erros percentuais e na raiz do erro quadrático médio (RMSE%), sendo:

$$RMSE(\%) = \frac{100}{\bar{H}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \check{H}_i)^2}{n}}$$

em que: H - é a média das alturas observadas, H_i - é a altura observada nos inventários na i-ésima observação, \check{H}_i - é a altura estimada pela RNA na i-ésima observação e n é o número total de observações.

Avaliação Econômica

A avaliação baseou-se na simulação de cenários sobre um estudo de caso para mensuração de um povoamento florestal de 5000 ha, com intensidade amostral média de uma parcela de 600 m² para seis hectares, resultando em 982 parcelas. A contribuição econômica da metodologia proposta foi avaliada em função da redução dos custos com relação a um orçamento proposto comercialmente por uma empresa de consultoria em mensuração florestal. Em função da inexistência de coeficientes técnicos para a real avaliação econômica dos benefícios da metodologia proposta, simularam-se diversas porcentagens na diminuição do tempo de

medição das parcelas em campo. Na Tabela 2 foi apresentado o orçamento comercial proposto para o estudo de caso avaliado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características das redes selecionadas com base nos índices de treinamento e na correlação entre as variáveis, foram apresentadas na Tabela 3.

As redes selecionadas aplicadas aos dados das demais parcelas permanentes para estimação da altura total das árvores

com base no DAP, altura dominante média e idade, mostram a alta precisão das estimativas com baixa dispersão e frequência relativa dos erros percentuais (Figura 1 e 2). Para a realização das análises econômicas escolheu-se a RNA 9, pela menor dispersão dos resíduos (Figura 1 e 2).

Modelos lineares ajustados para descrever o custo médio de mensuração da parcela em função do tempo de medição (Tabela 4). Esses modelos descreveram a variação nos custos com a redução do número de parcelas com alturas medidas (Figura 3).

Tabela 2. Orçamento proposto para a realização do inventário florestal visando ao estudo de caso proposto

Serviço	Quantidade	Unidade	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)
Planejamento, treinamento e acompanhamento	1	Parcela	9.731,69	9.731,69
Coleta de dados - Parcelas permanentes	982	Parcela	56,27	55.261,19
Hospedagem - Inventário	982	Parcela	23,15	22.730,02
Alimentação - Inventário	982	Parcela	11,57	11.365,01
Transporte - Inventário	982	Parcela	16,91	16.607,13
Coleta de dados - Cubagem	802	Árvore	23,28	18.673,67
Hospedagem - Cubagem	802	Árvore	9,05	7.258,32
Alimentação - Cubagem	802	Árvore	4,53	3.629,16
Transporte - Cubagem	802	Árvore	6,60	5.289,88
Total				150.546,07

Tabela 3. Características e estatísticas das redes neurais artificiais selecionadas para estimar a altura das árvores

RNA	Arquitetura*	Índice do treino**	Índice da seleção**	Índice da avaliação**	%	Treinamento		Generalização	
						r_{HH}	RMSE%	r_{HH}	RMSE %
1	3-8-1	0,09	0,08	0,08	10	0,9964	2,1	0,9946	2,5
2	3-9-1	0,09	0,09	0,09	20	0,9961	2,2	0,9949	2,4
3	3-9-1	0,10	0,10	0,10	30	0,9947	2,5	0,9953	2,3
4	3-9-1	0,10	0,10	0,10	40	0,9950	2,4	0,9949	2,5
5	3-7-1	0,10	0,10	0,10	50	0,9951	2,3	0,9954	2,4
6	3-9-1	0,10	0,10	0,10	60	0,9949	2,5	0,9959	2,1
7	3-9-1	0,10	0,10	0,10	70	0,9950	2,3	0,9958	2,2
8	3-9-1	0,10	0,10	0,10	80	0,9952	2,4	0,9949	2,5
9	3-9-1	0,10	0,11	0,10	90	0,9950	2,4	0,9971	1,9

* Número de neurônios em cada camada. ** Índices do treino (obtenção da rede), seleção (parada do treino) e avaliação (qualidade da rede treinada) que devem ser estáveis, ou seja, pouca variação entre eles. % = Proporção de parcelas nas quais a altura total das árvores é medida. r_{HH} = correlação entre os valores observados e os estimados das alturas totais.

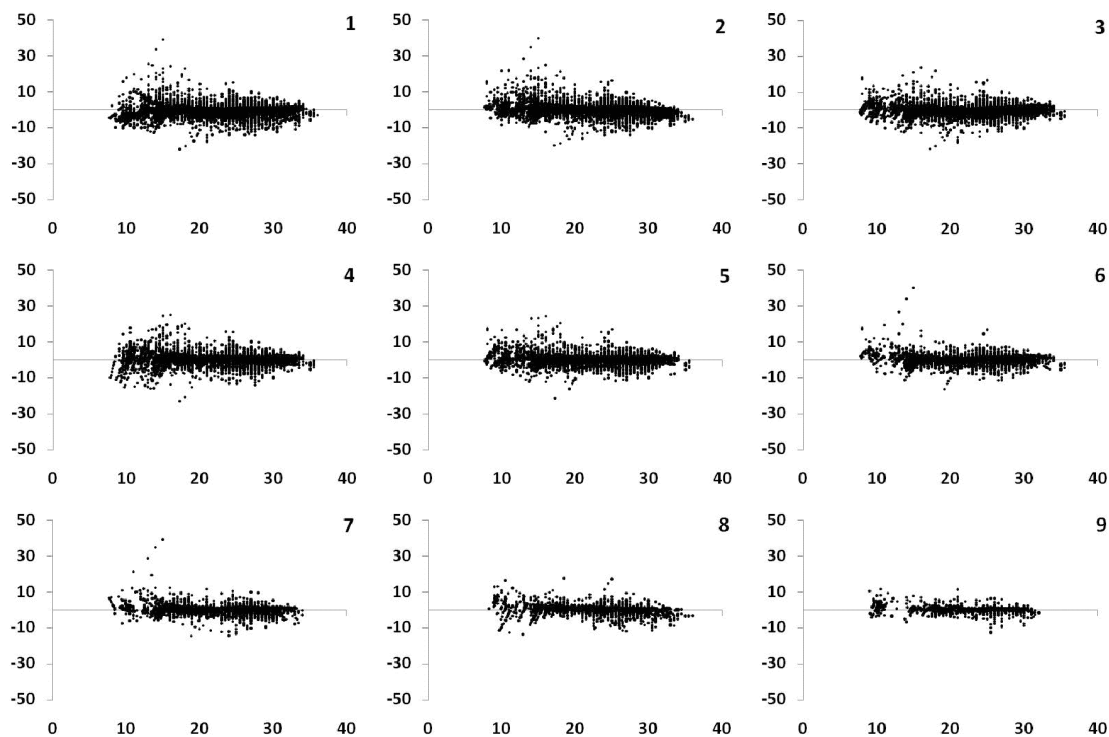


Figura 1. Dispersão dos erros percentuais das alturas totais estimadas pelas redes neurais artificiais (eixo y) (1-7) em função dos valores observados (eixo x)

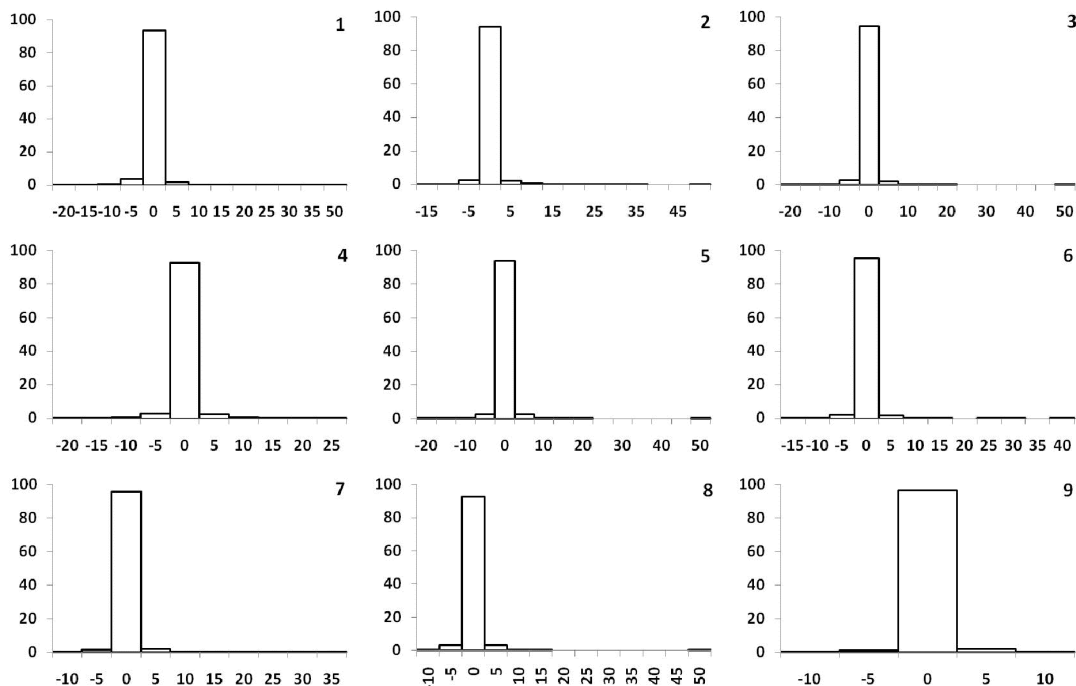


Figura 2. Frequência percentual (eixo y) dos erros percentuais (eixo x) das alturas totais estimadas pelas redes neurais artificiais (1-7)

Tabela 4. Modelos lineares ajustados para descrever o custo médio de mensuração das parcelas

Porcentagem de Redução do Tempo de Medição	Equação
10%	$\text{Custo} = \text{valorParcela} - 0,00063 (\text{valorParcela} * \text{Parc}\%)$
20%	$\text{Custo} = \text{valorParcela} - 0,00184 (\text{valorParcela} * \text{Parc}\%)$
30%	$\text{Custo} = \text{valorParcela} - 0,00272 (\text{valorParcela} * \text{Parc}\%)$

em que: *Custo* é o custo médio resultante da aplicação da metodologia (em reais), *valorParcela* é o valor atual da parcela (em reais) e *Parc%* representa a quantidade de parcelas sem medição de altura.

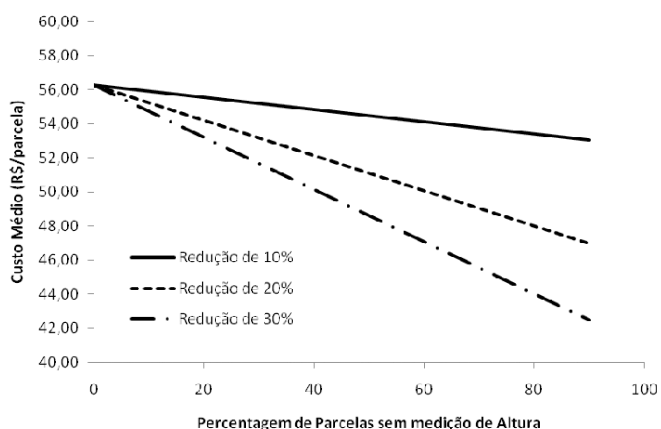


Figura 3. Simulação de redução dos custos para o estudo de caso proposto em função da redução das medições

A maioria dos estudos de mensuração florestal é baseada em medições do diâmetro a 1,3 m o que se deve ao fato de ser medido facilmente e com boa precisão nos povoamentos florestais. Por outro lado, a altura total da árvore não é tão comumente medida por várias razões, entre as quais: (1) tempo necessário para concluir as medições (2); erro de observação

e (3) obstrução visual (Colbert & Lootens, 2002; Campos & Leite, 2009). Consequentemente, a altura é medida apenas em algumas árvores da floresta sendo as demais estimadas por equações hipsométricas. A utilização da relação hipsométrica é responsável por uma redução significativa no tempo e nos custos de medição de parcelas de inventário florestal de povoamentos equiâneos. Diversos modelos para predição da altura de povoamentos podem ser encontrados na literatura (Curtis, 1967; Monserud, 1975; Ek et al., 1984; Larsen & Hann, 1987; Parresol, 1992; Flewelling & De Jong, 1994; Colbert & Lootens, 2002; Inoue & Yoshida, 2004; Campos & Leite, 2009).

O presente estudo objetivou avaliar o efeito de redução do custo de realização de inventários florestais pela redução das medições de altura e a manutenção da precisão obtida por métodos tradicionais comumente usados. Simulou-se a realização de redução de percentuais de medição de alturas de parcelas e se avaliou a aplicação de reduções em campo. Em função dos coeficientes operacionais para a medição da altura serem fortemente influenciados por condições climáticas (ex. ventos) e densidade populacional, optou-se por avaliar somente reduções no tempo de medição individual das parcelas.

Como apresentado na Figura 3, a avaliação dos benefícios econômicos gerados pela aplicação da metodologia pode ser avaliada pela utilização das equações geradas a partir da Figura 3. Para o estudo de caso apresentado, a medição de apenas 10% das alturas das parcelas pode ser realizada considerando-se uma redução de 20% no tempo e medição da parcela através da equação proposta que resulta em um custo de $56,27 - 0,00184 \times 56,27 \times 90 = R\$46,95$.

A comprovação da precisão das estimativas da metodologia proposta foi feita pela análise gráfica dos resíduos, apresentada na Figura 1, em conjunto com o histograma de resíduos na Figura 2, que demonstraram a pequena dispersão dos resíduos

em torno de zero e a inexistência de tendenciosidade nas estimativas proporcionadas pela metodologia proposta, cujos resultados mostraram, ainda, que seria possível mensurar a altura em somente 10% das parcelas inventariadas, sem perdas de precisão nas estimativas de altura.

A aplicação da metodologia permitiu reduzir consideravelmente o custo do inventário florestal, mas se deve considerar, também, que com a obtenção das redes realizadas pelo emprego da metodologia, o próximo inventário pode ser feito só com a mensuração do *dap* e das alturas das árvores dominantes do povoamento, que são necessárias também para a classificação da capacidade produtiva. Opcionalmente, a altura dominante pode ser definida com base no diâmetro das 100 maiores árvores por há, caso em que a altura das maiores árvores seria estimada, também, pela RNA. Recomenda-se, portanto, a mensuração da altura em somente 10% das parcelas, para o acompanhamento das estimativas.

CONCLUSÃO

O uso das RNA para estimar a altura de povoamentos é eficiente e permite reduzir o número de medições em altura sem perda de precisão.

É possível redução no custo do inventário por meio da aplicação da RNA na estimação das alturas das árvores.

LITERATURA CITADA

- Arabatzis, A. A.; Burkhart, H. E. An evaluation of sampling methods and model forms estimating height-diameter relationships in loblolly pine plantations. *Forest Science*, v.38, n.1, p.192–198, 1992. <<http://www.ingentaconnect.com/content/saf/fs/1992/00000038/00000001/art00017>>. 22 Sep. 2012.
- Binoti, M. L. M. da S. Redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de eucalipto. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2010. 54p. Dissertação Mestrado.
- Braga, A. P.; Ludermir, T. B.; Carvalho, A. P. de L. F. Redes neurais artificiais: teoria e aplicações. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000. 262p.
- Campos, J. C. C.; Leite, H. G. Mensuração florestal: perguntas e respostas. 3 ed. Viçosa: UFV, 2009. 548p.
- Colbert, K. C.; Larsen, D. R.; Lootens, J.R. Height-diameter equations for thirteen midwestern bottomland hardwood species. *Northern Journal of Applied Forestry*, v.19, n.4, p.171–176, 2002. <http://nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/jrnl_colbert001.pdf>. 22 Sep. 2012.
- Curtis, R.O. Height-diameter and height-diameter-age equations for second growth Douglas-fir. *Forest Science*, v.13, n.4, p.365–375, 1967. <<http://www.ingentaconnect.com/content/saf/fs/1967/00000013/00000004/art00007>>. 22 Sep. 2012.
- Ek, A.R.; Birdsall, E.T.; Spears, R.J. A simple model for estimating total and merchantable tree heights. St. Paul, MN: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, 1984. 5p. (Research Note NC-309). <http://nrs.fs.fed.us/pubs/rn/rn_nc309.pdf>. 22 Sep. 2012.
- Flewelling, J.R.; Jong, R. De. Considerations in simultaneous curve fitting for repeated height-diameter measurements. *Canadian Journal of Forest Research*, v.24, n.7, p.1408–1414, 1994. <<http://dx.doi.org/10.1139/X07-104>>
- Haykin, S. Redes neurais: princípios e prática. Porto Alegre, 2001. 900 p.
- Inoue, A.; Yoshida, S. Allometric model of the height-diameter curve for even-aged pure stands of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*). *Journal of Forest Research*, v.9, n.4, p.325–331, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1007/s10310-004-0085-z>>
- Larsen, D.R.; Hann, D.W. Height-diameter equations for seventeen tree species in southwest Oregon. Corvallis, OR: Oregon State University/ Forest Research Laboratory, 1987. 16p. (Research Paper, 49). <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/8245/RP_no_49.pdf?sequence=1>. 22 Sep. 2012.
- Leite, H.G.; Andrade, V.C.L. Uso do método da altura relativa em inventário florestal de um povoamento de Pinus. *Revista Árvore*, v.28, n.6, p. 865-873, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000600011>>
- Monserud, R. Methodology for simulating Wisconsin northern hardwood stand dynamics. Madison, WI: University of Wisconsin, 1975.156p. PhD dissertation.
- Parresol, B. R. Baldcypress height-diameter equations and their prediction confidence intervals. *Canadian Journal of Forest Research*, v.22, n.9, p.1429–1434, 1992. <<http://dx.doi.org/10.1139/x92-191>>
- Van Laar, A.; Akça, A. Forest Mensuration. Göttingen, Germany: Cuvillier Verlag, 1997.418 p.