



EQUAÇÕES SIMULTÂNEAS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA EM PLANTIOS COMERCIAIS DE ACÁCIA-NEGRA

Alexandre Behling¹, Carlos Roberto Sanquetta², Ana Paula Dalla Corte², Augusto Arlindo Simon³, Gabriel Somavilla Nunes⁴

1. Mestrando em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná. (alexandre.behling@yahoo.com.br)
2. Professor Doutor da Universidade Federal do Paraná.
3. Gerente de Silvicultura da empresa Tanac. S. A.
4. Graduando em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná. Universidade Federal do Paraná; Centro de Excelência em Pesquisas sobre Fixação Carbono na Biomassa (BIOFIX), Av. Prof. Lothário Meissner, 900 - Jardim Botânico - Campus III 80210-170 - Curitiba - Paraná – Brasil.

Recebido em: 06/10/2012 – Aprovado em: 15/11/2012 – Publicado em: 30/11/2012

RESUMO

De modo geral, os ajustes dos modelos de biomassa têm sido realizados independentemente para cada compartimento da árvore. Entretanto, a obtenção de um sistema de equações resulta em melhor estimativa, pois garante a qualidade global da predição da biomassa para os compartimentos e também da árvore. Assim, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de equações compatíveis para a estimativa da biomassa de árvores centrais em povoamentos de acácia-negra. Para tanto, foram conduzidas avaliações de biomassa em plantios comerciais de acácia negra com 7 anos de idade situados nos municípios de maior concentração de plantios no estado do Rio Grande do Sul: Cristal e Piratini, onde foram selecionadas e avaliadas a biomassa da parte aérea de 12 árvores centrais por compartimento: madeira do tronco + casca, galhos vivos, galhos mortos, folhas e flores + frutos. As equações obtidas não vieram a melhorar ou piorar o desempenho, mas sim compatibilizar as estimativas de biomassa por compartimento e para o total. Isso vem ser uma grande vantagem no processo estimativo por não se ter distorções entre o somatório das equações individuais (de cada compartimento) e da equação para o total, como acontece com o uso de equações independentes.

PALAVRAS-CHAVE: Ajuste simultâneo, ajuste independente, modelagem.

SIMULTANEOUS EQUATIONS FOR ESTIMATE OF THE BIOMASS IN COMMERCIAL PLANTINGS OF *Acacia mearnsii*

ABSTRACT

In general, the adjustments of the biomass models have been accomplished independently for each compartment of the tree. However, the obtaining of a system of equations results in better estimate than the independent adjustment, because it guarantees the global quality of the prediction of the biomass for the compartments and also of the tree. Like this, the present work had as objective develops a system of compatible equations for the estimate of the biomass of central trees in stands

Acacia mearnsii. For so much, biomass evaluations were driven in commercial plantings of *Acacia mearnsii* with 7 located years of age in the municipal districts of larger concentration of plantings in the state of Rio Grande do Sul: Cristal and Piratini, where they were selected and appraised the biomass of the aerial part of 12 central trees for evaluation of the different compartments of the biomass. The obtained equations didn't come to get better or to worsen the acting, the biomass estimates for compartment and for the total. That comes to be a great advantage in the process estimative for not having distortions among the sum of the individual equations (of each compartment) and of the equation for the total, as it happens with the use of independent equations.

KEYWORDS: Adjust simultaneous, adjust independent, modelling.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) é uma espécie florestal de destaque no estado do Rio Grande do Sul, cuja extensão de seus povoamentos situa-se logo após os dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Conforme SIMON (2005) a acácia-negra é a principal fonte de casca para a indústria de taninos vegetais em nível mundial, utilizados principalmente no curtimento de peles. A madeira desta espécie apresenta qualidade para a produção de celulose e papel, que atualmente constitui seu principal destino, sendo cultivada em mais de 40 mil pequenas propriedades rurais, exercendo, portanto, importante papel socioeconômico (STEIN & TONIETTO, 1997; OLIVEIRA *et al.*, 2006).

Até recentemente, era comum usar somente a medida de volume do material lenhoso para valorizar os povoamentos florestais. Atualmente, nos inventários a mensuração do estoque de biomassa tem se tornado comum, já que o conhecimento dessa variável, conforme destacam SOARES *et al.*, (2005), tem assumido um importante papel na comercialização, estudos de crescimento e produção, fluxo de energia e de nutrientes e ainda na contribuição para o ciclo global do carbono.

O termo biomassa corresponde à massa de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal, sendo que biomassa florestal é pertinente a toda massa vegetal existente na floresta ou apenas a fração arbórea da mesma (MARTINELLI *et al.*, 1994; SANQUETTA & BALBINOT, 2002). A forma de mensurar a biomassa de maneira confiável e com baixo custo se dá através do ajuste de modelos empíricos que permitem estimar a biomassa a partir de variáveis dendrométricas (MAESTRI *et al.*, 2004).

De modo geral, os ajustes dos modelos de biomassa têm sido realizados de forma independente para cada compartimento da árvore (fuste, casca, galhos, folhas e raízes). Entretanto, PAULO *et al.*, (2002) indicam que o ajustamento simultâneo resulta em melhor estimativa, pois garante a qualidade global da predição da biomassa para os compartimentos e também da árvore.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de equações compatíveis para a estimativa da biomassa de árvores centrais em povoamentos de acácia-negra.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram conduzidas avaliações em plantios comerciais de acácia-negra situados nas regiões de maior concentração de plantios no estado do Rio Grande do Sul, nos municípios de Cristal e Piratini. Em

cada região foram estudados povoamentos ao final da rotação, ou seja, aos sete anos de idade.

Em cada povoamento foi selecionada uma encosta de exposição norte em que foram demarcadas três parcelas localizadas no terço superior, médio e inferior da pendente. O tamanho das parcelas foi de 9 metros de largura por 14 metros de comprimento, equivalendo a quatro linhas de plantio e 10 plantas em cada linha.

Nas parcelas todas as árvores tiveram circunferência a altura do peito mensurada utilizando-se uma fita métrica graduada. As duas árvores de diâmetro médio (d) em cada parcela, consideradas como árvores centrais, foram selecionadas para avaliações da altura total (h), diâmetro a altura do peito (d) e biomassa.

A mensuração da biomassa foi realizada por compartimento da árvore: madeira do tronco + casca, galhos vivos, galhos mortos, folhas e flores + frutos, sendo cada separado e pesado para a determinação da biomassa úmida com balança digital (*Portable Eletronic Scale*) de precisão de 0,5 gramas.

Para a determinação da biomassa seca, foram retiradas amostras de aproximadamente 200 gramas dos compartimentos galhos vivos, galhos mortos, folhas e flores + frutos e imediatamente pesadas para determinação do peso úmido. Já para o fuste e casca foram retirados 5 discos de 2 centímetros de espessura ao longo do fuste de forma a abranger 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial (considerada como diâmetro de topo de 4 cm). Posteriormente, estas amostras foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 75°C e após a constatação de peso constante, novamente o material foi pesado, possibilitando assim, a obtenção do teor de umidade e conseqüentemente a biomassa seca através da expressão:

$$PSi = \frac{PUI * PSA}{PUA}$$

em que PSi = biomassa seca de um dado compartimento, em kg; PiF = peso úmido de um dado compartimento, em kg; PSA = peso seco da amostra, em kg; e PUA = peso úmido da amostra, em kg.

O modelo de Schumacher-Hall, $\ln y = b_0 + b_1 \ln d + b_2 h$, foi utilizado para o desenvolvimento do sistema de equações. Esse modelo foi utilizado por MOCHIUTTI (2007) para a estimativa de biomassa por compartimento e também foi o modelo de melhor desempenho entre 10 testados para a estimativa da biomassa total para o presente conjunto de dados conforme pode ser visualizado em DOLCI *et al.*, (2012).

O ajuste simultâneo foi realizado como base nos trabalhos de PARRESOL (2001) e PAULO *et al.*, (2002) utilizando o método dos mínimos quadrados generalizados. Assim, a biomassa de cada compartimento foi calculada por uma regressão com as suas variáveis independentes e a regressão para biomassa total como o somatório das funções utilizadas para os outros compartimentos.

Para efeito de comparação, também foram feitos ajustes independentes para cada compartimento da biomassa através do método dos mínimos quadrados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A divisão da biomassa por compartimentos seguiu a seguinte ordem: madeira > casca > galho vivo > folha > galho morto > flores + frutos e sua distribuição é destacada na Figura 1. A maior concentração da biomassa em acácia negra logo se deu nas partes de interesse econômico, sendo em média 72% na parte do fuste seguido pela casca com 11%. Esses resultados estão de acordo aos observados por MOCHIUTTI (2007) em povoamentos comerciais na mesma região em estudo e também por REIS *et al.*,(1985), que relatam que em sítios de

melhor qualidade, a madeira constitui 60% da biomassa total de eucalipto, enquanto que, em sítios de pior qualidade, ela constitui apenas 45%.

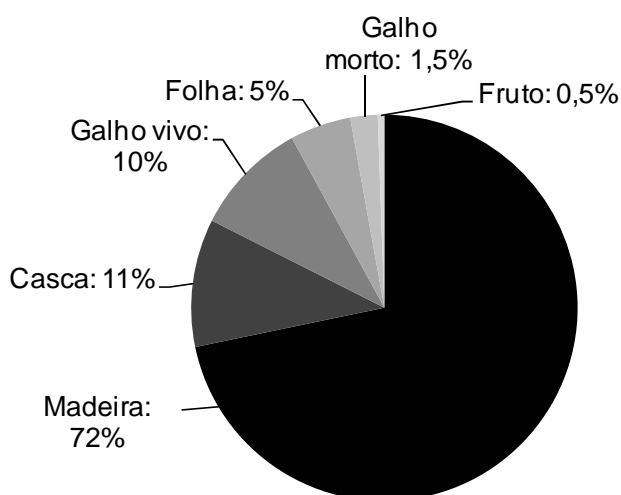


FIGURA 1 - Distribuição relativa da biomassa entre os compartimentos em árvores de plantio comercial de *Acacia mearnsii* nos municípios Cristal e Piratini, Rio Grande do Sul.

As estatísticas obtidas para todos os valores de árvores avaliadas são apresentadas na Tabela 1. O valor médio total de biomassa foi 92,2 kg, para um intervalo de confiança variando de 84,32 a 108,07kg. O valor mínimo observado foi de 73,34kg e o máximo de 137,7kg. De maneira geral, foram observados baixos coeficientes de variação e erro padrão.

TABELA 1 – Estatística descritiva da biomassa entre os compartimentos em árvores de plantio comercial de *Acacia mearnsii* nos municípios Cristal e Piratini, Rio Grande do Sul.

Estatística	Madeira (kg)	Casca (kg)	Galho vivo (kg)	Folha (kg)	Flores + Frutos (kg)	Galho morto (kg)	Total (kg)
Média	68,44	10,34	9,28	5,58	0,66	1,91	96,20
Erro padrão	3,97	0,49	0,72	0,37	0,07	0,09	5,40
Desvio padrão	13,74	1,70	2,48	1,28	0,24	0,30	18,69
Variância da amostra	188,83	2,88	6,17	1,63	0,06	0,09	349,44
Intervalo	48,95	5,73	6,67	3,65	0,58	1,11	64,36
Mínimo	52,26	8,07	5,98	3,50	0,41	1,39	73,34
Máximo	101,21	13,80	12,65	7,15	0,99	2,50	137,70
Intervalo de confiança	59,71	9,26	7,70	4,77	0,51	1,72	84,32
	77,17	11,41	10,85	6,39	0,81	2,11	108,07

Os resultados dos ajustes independentes e simultâneos são apresentados na Tabela 2. O modelo ajustado de Schumacher-Hall teve bom desempenho para a predição da biomassa do fuste, casca, galho vivo, folhas e total, denotado pela estatística do coeficiente de determinação.

TABELA 2 – Coeficientes obtidos através de ajuste independente e simultâneo para a estimativa da biomassa em árvores de plantio comercial de *Acacia mearnsii* nos municípios Cristal e Piratini, Rio Grande do Sul.

Compartimento	Coeficiente	Ajustamento		Coeficiente de determinação	
		Independente	Simultâneo	Independente	Simultâneo
Fuste	b ₁₁	-4,9208	-4,9183	0,96	0,96
	b ₁₂	1,8535	1,8530		
	b ₁₃	1,5044	1,5040		
Casca	b ₂₁	-6,3330	-6,3300	0,94	0,94
	b ₂₂	2,3731	2,3724		
	b ₂₃	0,8805	0,8799		
Galho vivo	b ₃₁	-8,6078	-8,5652	0,68	0,68
	b ₃₂	1,9307	1,9208		
	b ₃₃	2,0119	2,0037		
Folha	b ₄₁	-8,2687	-8,2269	0,57	0,57
	b ₄₂	2,4105	2,4001		
	b ₄₃	1,2971	1,2891		
Flores + Fruto	b ₅₁	-13,9613	-13,8942	0,62	0,62
	b ₅₂	2,4865	2,4708		
	b ₅₃	2,4444	2,4316		
Galho morto	b ₆₁	-1,3658	-1,3299	0,20	0,20
	b ₆₂	-0,0341	-0,0425		
	b ₆₃	0,7206	0,7138		
Biomassa total	b ₇₁	-4,6341		0,95	0,96
	b ₇₂	1,9310	---		
	b ₇₃	1,4545			

Para os compartimentos: flores+frutos e galho morto às equações obtidas tenderam a superestimar nas menores classes de diâmetro e altura bem como superestimar nas maiores classes (Figura 2), porém sem gerar estimativas comprometedoras tendo em vista que esses compartimentos juntos somam em torno de 2% do montante da biomassa. Para os demais compartimentos foi obtida adequada distribuição de resíduos ao longo de toda a linha estimativa.

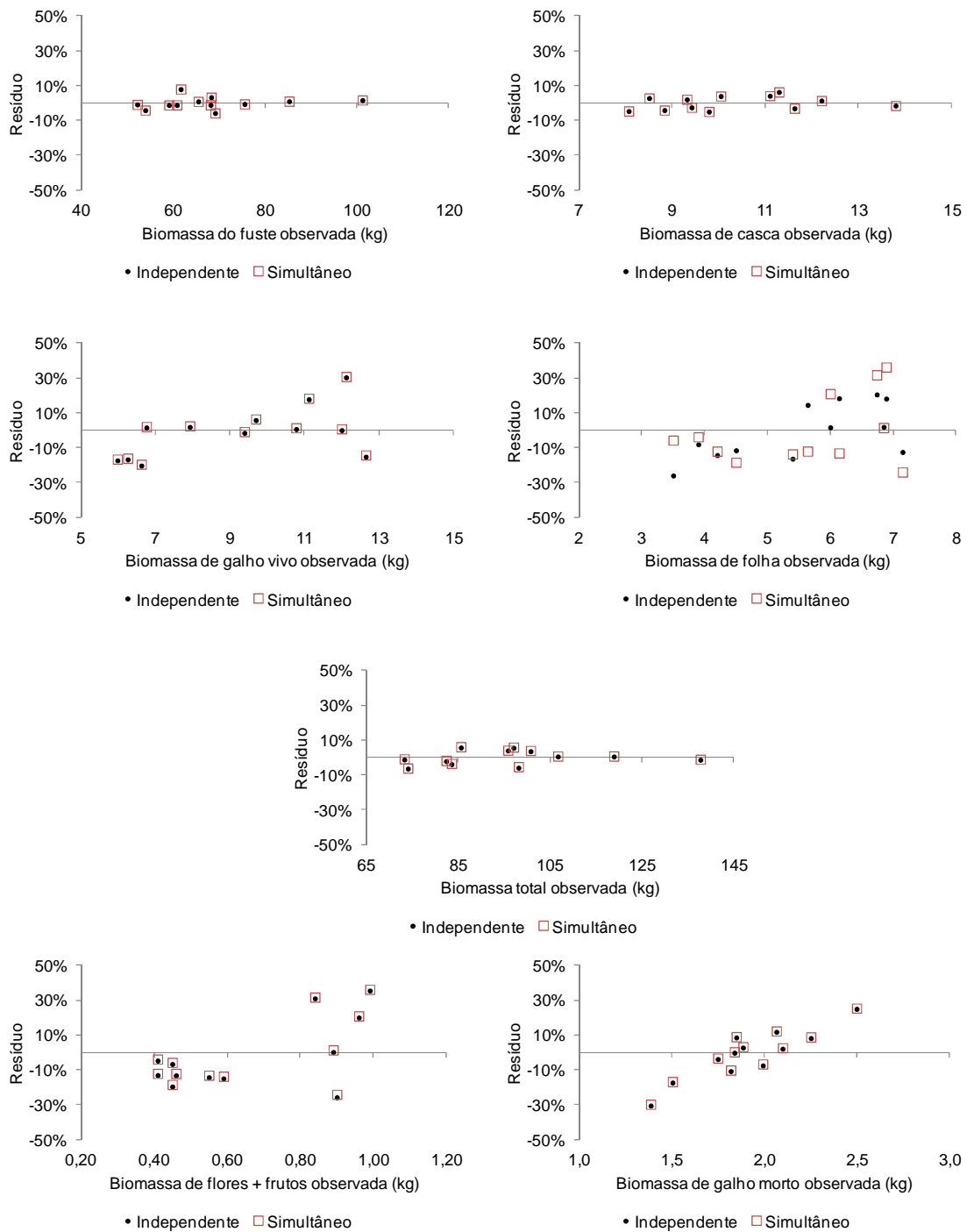


FIGURA 2: Distribuição de resíduos obtidos por meio de equações ajustadas independentemente e simultaneamente para a estimativa de biomassa em árvores de plantio comercial de *Acacia mearnsii* nos municípios Cristal e Piratini, Rio Grande do Sul.

O ajuste simultâneo não vem a melhorar o desempenho das equações, mas sim compatibilizar as estimativas de biomassa por compartimento e para o total. Isso vem ser uma grande vantagem no processo estimativo por não se ter distorções entre o somatório da biomassa obtida por meio das equações individuais (de cada compartimento) e da equação para o total, como acontece no ajuste independente. No Brasil, não foram encontrados trabalhos na literatura referindo-

ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 858 2012

se a sistema de equações para a estimativa de biomassa. Na literatura internacional, equações simultâneas têm sido desenvolvidas para a biomassa *Quercus suber* L. e *Quercus ilex* L. (PAULO *et al.*, 2002; PAULO & TOMÉ, 2006), e para a espécie em estudo não foram encontrados trabalhos.

O seguinte sistema de equações foi obtido para a estima da biomassa da acácia negra:

$$\begin{aligned}
 \text{Madeira} &= e^{-4,9183 + 1,8530 \ln d + 1,5040 \ln h} \\
 \text{Casca} &= e^{-6,3300 + 2,3724 \ln d + 0,8799 \ln h} \\
 \text{Galho vivo} &= e^{-8,5652 + 1,9208 \ln d + 2,0037 \ln h} \\
 \text{Folha} &= e^{-8,2269 + 2,4001 \ln d + 1,2891 \ln h} \\
 \text{Flores + Frutos} &= e^{-13,8942 + 2,4708 \ln d + 2,4316 \ln h} \\
 \text{Galho morto} &= e^{-1,3299 + -0,0425 \ln d + 0,7138 \ln h} \\
 \text{Total} &= (e^{-4,9183 + 1,8530 \ln d + 1,5040 \ln h}) + (e^{-6,3300 + 2,3724 \ln d + 0,8799 \ln h}) \\
 &+ (e^{-8,5652 + 1,9208 \ln d + 2,0037 \ln h}) + (e^{-8,2269 + 2,4001 \ln d + 1,2891 \ln h}) \\
 &+ (e^{-13,8942 + 2,4708 \ln d + 2,4316 \ln h}) + (e^{-1,3299 + -0,0425 \ln d + 0,7138 \ln h})
 \end{aligned}$$

CONCLUSÕES

A divisão da biomassa por compartimentos segue a seguinte ordem: madeira > casca > galho vivo > folha > galho morto > flores + frutos.

As equações simultâneas obtidas não vieram a melhorar ou piorar o desempenho, mas sim compatibilizar as estimativas de biomassa por compartimento e para o total. Isso vem ser uma grande vantagem no processo estimativo por não se ter distorções entre o somatório das equações individuais (de cada compartimento) e da equação para o total, como acontece com o uso de equações independentes.

O sistema de equações simultâneas obtido pode ser utilizado para a estimativa da biomassa de árvores centrais quer seja por compartimento ou para o total.

REFERÊNCIAS

DOLCI, M.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A.P.D.; BEHLING, A. Equações para estimativa da biomassa total ao final da rotação em povoamentos de acácia-negra. In: 20º Encontro de Iniciação Científica da UFPR (EVINCI), 2012. Curitiba. **Anais...** In: Resumos 6º Evento de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 2012.

MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R.; MACHADO, S. A.; SCOLFORO, J.R.S.; CORTE, A.P.D. Viabilidade de um projeto florestal de *Eucalyptus grandis* considerando o sequestro de carbono. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 347-360, dez. 2004.

MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; BROWN, I. F. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO₂: uma oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p.197-221.

ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 859 2012

MOCHIUTTI, S. **Produtividade e sustentabilidade de plantações de acácia-negra (*Acaia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul.** Curitiba, 2007. 270 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná.

OLIVEIRA, L. S. et al. Ocorrência de *Phaops thunbergi* (Coleoptera: Curculionidae) em *Acacia mearnsii* De Wild. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 971-972. 2006.

PARRESOL, B. R. Additivity of nonlinear biomass equations. **Canadian Journal of Forest Research**, Montreal, v. 31, n.1, p. 865-878, 2001.

PAULO, J. A., TOMÉ, M. 2006. Equações para estimação do volume e biomassa de duas espécies de carvalhos: *Quercus suber* e *Quercus ilex*. **Publicações GIMREF**. RC1/2006. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Agronomia. Centro de Estudos Florestais. Lisboa. 21 pp.

PAULO, J. A.; TOMÉ, J.; TOMÉ, M. Ajustamento simultâneo de equações de biomassa de azinheira. In: Actas do X Congresso da Sociedade Portuguesa de Estatística. **Anais...**Porto, p.501, 2002.

REIS, M.G.F., KIMMINS, J.P., RESENDE, G.C., BARROS, N.F. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v.9, p.149-162, 1985.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, et al. (Eds.). **As Florestas e o Carbono**. Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2002. p. 77-92.

SIMON, A. A. A cadeia produtiva da acácia-negra, aspectos econômicos, sociais e ambientais. In: STROHSCHOEN, A.G.; REMPEL, C. **Reflorestamento e recuperação ambiental: Ambiente e tecnologia: o desenvolvimento sustentável em foco**. Lajeado: Univates, 2005. p. 149-166.

SOARES, C.P.B.; LEITE, H.G.; GÖRGENS, E.B. Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais em plantios comerciais de eucalipto. **Revista árvore**. Viçosa, v. 29, n. 5, p. 711-718, ago. 2005.

STEIN, P. P.; TONIETTO, L. Black Wattle Silviculture in Brazil. In: BROWN, A.G.; KO, H.C. (Ed.). **Black Wattle and its Utilisation**. Barton: RIRDC, 1997. p. 78-82.