

EQUAÇÕES PARA ESTIMAR A BIOMASSA DA PARTE AÉREA E DO SISTEMA RADICULAR EM POVOAMENTOS DE *Eucalyptus grandis* EM SÍTIOS COM PRODUTIVIDADES DISTINTAS¹

Sérgio Luis de Miranda Mello² e José Leonardo de Moraes Gonçalves²

RESUMO – O objetivo principal deste trabalho foi ajustar equações para a estimativa da biomassa da parte aérea e sistema radicular de povoamentos de *Eucalyptus grandis* aos 11 anos de idade, crescendo em dois sítios com produtividades distintas. O solo argiloso (sítio mais produtivo) foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e o solo arenoso (sítio menos produtivo), como Neossolo Quartzarênico (RQ). Foi realizado um inventário de biomassa de 10 árvores-amostra em cada sítio, incluindo os componentes da parte aérea (fuste, casca, folhas e galhos) e do sistema radicular (raízes finas e grossas). Ajustaram-se dois modelos logarítmicos para estimar a biomassa das árvores, nos quais se utilizaram como variáveis independentes o diâmetro à altura do peito (DAP), a altura total das árvores (H) ou a variável combinada DAP²H. Os modelos testados foram significativos no nível de 95% de probabilidade, pelo teste t, de Student. O melhor ajuste das equações foi obtido com a variável DAP²H. A validação de equações comuns aos dois sítios foi baseada na análise conjunta do coeficiente de determinação (R²), erro-padrão da estimativa (S_{y,x}) e análise gráfica dos resíduos percentuais. As equações ajustadas tiveram maior precisão na estimativa da biomassa do fuste (R² = 0,99; S_{y,x} = 0,12) e da casca (R² = 0,97; S_{y,x} = 0,24). Apesar dos R² > 0,70, as equações para a estimativa da biomassa de folhas e galhos apresentaram baixa capacidade preditiva, caso em que se recomenda a adição de outras variáveis associadas ao tamanho da copa das árvores. Equações específicas para cada local, visando estimar a biomassa de raízes finas [LVd (R² = 0,97; S_{y,x} = 0,30); RQ (R² = 0,96; S_{y,x} = 0,15)] e grossas [LVd (R² = 0,98; S_{y,x} = 0,19); RQ (R² = 0,99; S_{y,x} = 0,15)], mostraram uma precisão melhor que as equações comuns, uma vez que houve maior alocação relativa de biomassa radicular no solo mais arenoso (RQ).

Palavras-chave: Eucalipto, qualidade do sítio e solo.

EQUATIONS TO ESTIMATE SHOOT AND ROOT SYSTEM BIOMASS IN *Eucalyptus grandis* STANDS AT SITES WITH DIFFERENT PRODUCTIVITIES

ABSTRACT – The main objective of this work was to adjust equations to estimate biomass of shoot and root system in 11-year-old *Eucalyptus grandis* stands growing in two sites with different productivities. Loamy soil (more productivity site) was classified as a Typic Hapludox (RED) and sandy soil (less productivity site) as a Typic Quartzipsamment (QTZ). Biomass inventory was carried out using ten sample-trees in each site including shoot (stem, bark, leaves and branches) and root system (fine and coarse roots) tree components. Two logarithmic regression equations were adjusted to estimate tree biomass, with diameter at breast height (DBH) and height (H) or DBH²H being used as independent variables. The adjusted

¹ Recebido em 24.07.2006 e aceito para publicação em 18.12.2007.

² Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. E-mail : <slmello@yahoo.com.br> e <jlmgonca@esalq.usp.br>

models were significant at 95 % of probability by the t Student test. The best-fit equations were found with DBH²H. Validation of common equations for the two sites was based in the combined analyses of coefficient of determination (R^2), stand error of estimate ($S_{y,x}$) and graphic analysis of residues. Adjusted equations had highest precision for estimate of stem biomass ($R^2 = 0.99$; $S_{y,x} = 0.12$) and bark biomass ($R^2 = 0.97$; $S_{y,x} = 0.24$). In spite of $R^2 > 0.70$, equation for leaf and branch biomass had low accuracy. Thus, it was suggested the inclusion of other variables related to size of trees. Specific equations for biomass estimation by each site for fine [RED ($R^2 = 0.97$; $S_{y,x} = 0.30$); QTZ ($R^2 = 0.96$; $S_{y,x} = 0.15$)] and coarse roots [LVd ($R^2 = 0.98$; $S_{y,x} = 0.19$); RQ ($R^2 = 0.99$; $S_{y,x} = 0.15$)] were more accurate than common equations, since that there was more root biomass allocation in sandy soil (QTZ).

Keywords: Eucalypt, site quality and soil.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda por produtos florestais está constantemente promovendo o aprimoramento técnico do manejo aplicado em grandes áreas reflorestadas no Brasil. Nesse processo, a quantificação da biomassa da parte aérea e do sistema radicular é imprescindível para a compreensão do processo de crescimento e alocação de C e de nutrientes nos diferentes componentes das árvores, conforme as condições de estresse ambiental. Essas informações são valiosas para nortear o manejo sustentável de plantações florestais.

Vários trabalhos foram realizados em plantações de eucaliptos para avaliar a biomassa da parte aérea das árvores, utilizando-se equações de regressão (CAMPOS et al., 1990, SOARES et al., 1996). Essas equações foram sempre baseadas em relações empíricas entre a biomassa dos componentes da árvore e o diâmetro à altura do peito, ou a 1,30 m de altura (SCHUMACHER e CALDEIRA, 2001), e a altura, ou a combinação dessas variáveis (SOARES et al., 1996; BERNARDO et al., 1998; LADEIRA et al., 2001; LACLAU, 2003). De acordo com Baskerville (1972) e Reis et al. (1985), as equações logarítmicas são mais apropriadas para a estimativa da biomassa, pois apresentam a vantagem de reduzir a variância associada com o sucessivo aumento na altura da árvore (relação alométrica).

A eficácia das equações alométricas depende da espécie, idade e qualidade do sítio (ZIANIS e MENCUCINI, 2004). Reis et al. (1985) destacaram a importância da inclusão da variável idade para a estimativa da parte aérea e do sistema radicular; porém, os dados na literatura foram geralmente obtidos a partir de povoamentos de idades diferentes. Segundo Parresol

(1999), uma característica desejável das equações de regressão para estimativa da biomassa dos componentes das árvores é que a soma da biomassa estimada para cada componente da árvore seja igual àquela estimada para toda a árvore. Foram utilizados dados de sensoriamento remoto para estimativa do volume e da biomassa florestal (MONTES et al., 2000; DRAKE et al., 2002), porém essa estimativa depende da prévia medição das dimensões de árvores no local a ser avaliado.

A quantificação da biomassa radicular é de grande relevância para a compreensão das relações fonte/dreno na árvore. Sabe-se da existência de um mecanismo sincronizado entre o crescimento da parte aérea e o sistema radicular (HENDRICK e PREGITZER, 1996). Entretanto, poucos estudos sobre a estimativa da biomassa radicular estão disponíveis na literatura (RESH et al., 2003). Ter-Mikaelian e Korzukhin (1997) informaram sobre a carência de equações para a estimativa da biomassa de raízes de espécies florestais nos Estados Unidos. Snowdon et al. (2000) enfatizaram a necessidade de realização de número maior de estudos da biomassa radicular, sugerindo que a utilização da geometria dos fractais como ferramenta promissora para superar os problemas técnicos advindos da amostragem destrutiva no estudo do sistema radicular. Os estudos relacionados ao sequestro de carbono impulsionaram a avaliação da biomassa radicular, como pode ser comprovado nos trabalhos de Ericsson et al. (1996) e Brack e Richards (2002). Além disso, a conferência das Nações Unidas para mudanças climáticas e, em particular, o Protocolo de Kyoto reconhecem a importância do sequestro de carbono em florestas e a necessidade de monitorar, preservar e incrementar os estoques de carbono no solo, contribuindo diminuir a concentração de CO₂ na atmosfera (IPCC, 2003). Laclau (2003) mencionou que

as equações alométricas podem ser utilizadas com confiabilidade para estimar a biomassa de raízes finas e, conseqüentemente, calcular o estoque de C nesse compartimento da árvore. Bernardo et al. (1998) e Ladeira et al. (2001) verificaram que o emprego da variável independente “área útil por planta”, associada ao diâmetro e à altura, contribuiu significativamente para a elaboração dos modelos para a estimativa dos componentes do sistema radicular (raízes finas e raiz pivotante).

O objetivo deste estudo foi estimar, a partir do ajuste de modelos logarítmicos, a biomassa dos componentes das árvores (parte aérea e sistema radicular) em povoamentos de *E. grandis* manejados no sistema de alto fuste, localizados em dois sítios com diferentes capacidades produtivas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram definidos dois sítios no planalto ocidental do Estado de São Paulo, em plantações comerciais de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden (procedência Coff's Harbour), pertencentes à Companhia Suzano Papel e Celulose. O sítio florestal mais produtivo, com incremento médio anual (IMA) equivalente a 30 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de madeira sem casca aos 9 anos de idade (273 m³ ha⁻¹), está localizado na Fazenda das Estrelas (Quadro 1), Município de Alambari (23°55'S, 47°09'W, altitude de 650 m), enquanto o sítio menos produtivo, com um IMA de 22 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (191 m³ ha⁻¹), está situado na Fazenda Ariona, Município de Itatinga (23°01'S, 48°61'W, altitude de 700 m). De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cwa, com temperatura

média no mês mais frio abaixo de 18 °C e no mês mais quente acima de 22 °C. A precipitação média anual é cerca de 1.200 mm, em que 73% desta ocorre entre os meses de outubro e março. Esses sítios foram originalmente ocupados pela vegetação de Cerrado. O solo no sítio mais produtivo foi classificado como Latossolo Vermelho-distrófico (LVd), distrófico, A moderado, textura média, relevo plano a suavemente ondulado; e do sítio menos produtivo, como Neossolo Quartzarênico (RQ), A moderado, textura arenosa, relevo plano a suavemente ondulado (EMBRAPA, 1999). Os atributos físicos e químicos dos solos estão apresentados nos Quadros 2 e 3.

Os povoamentos florestais deste estudo foram plantados em 1992, a partir de mudas de *Eucalyptus grandis* provenientes do pomar de sementes do Programa de Melhoramento Genético da Companhia Suzano. As relações raiz/parte aérea foram aqui estudadas em povoamentos a partir de mudas propagadas por sementes (e não com clones), para se conhecer o comportamento geral da espécie. Os dois sítios foram manejados pelo sistema de “cultivo mínimo” (GONÇALVES et al., 2004). O preparo do solo consistiu da subsolagem das linhas de plantio na profundidade de 40 cm. Nos dois sítios, o espaçamento foi de 3,0 m x 2,0 m, e a adubação de plantio consistiu na aplicação de 260 kg ha⁻¹ 06-30-06 (NPK) mais 330 kg ha⁻¹ de fosfato parcialmente acidulado (FAPS). A adubação de cobertura foi realizada três meses pós-plantio, com a aplicação de 80 kg ha⁻¹ 20-00-20 (NPK), mais 300 kg ha⁻¹ 14-07-28 (NPK) dois anos pós-plantio. A condução dos povoamentos foi realizada sob o regime de alto fuste.

Quadro 1 – Avaliações dendrométricas dos povoamentos (1660 árvores/ha) de *E. grandis* aos 9 anos de idade, no Latossolo Vermelho Distrófico e no Neossolo Quartzarênico*. O desvio-padrão está apresentado entre parênteses

Table 1 – Dendrometric evaluations of 9-year-old *E. grandis* stands (1,660 trees/ha), on a Typic Hapludox (DRL) and on a Typic Quartzipsamment (QTZ). The standard deviation is presented between parentheses

| Solo | H | DAP | Volume sólido sem casca | IMA | | Biomassa do fuste | Biomassa de casca |
|---------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|---|--------------------------------------|----------------------|----------------------|
| | | | | Volume | Biomassa | | |
| | m | cm | m ³ ha ⁻¹ | m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹ | t ha ⁻¹ ano ⁻¹ | t ha ⁻¹ | t ha ⁻¹ |
| LVd | 25,9 (± 4,7) | 15,1 (± 4,4) | 273 (± 45) | 30,3 (± 5,5) | 14,5 (± 1,5) | 131 (± 14) | 13,5 (± 1,0) |
| RQ | 21,6 (± 4,0) | 13,8 (± 4,8) | 191 (± 32) | 22,0 (± 3,9) | 10,4 (± 1,2) | 94 (± 10) | 12,1 (± 3,7) |
| Diferença (%) | 16,6 | 8,6 | 30 | 27,4 | 28,5 | 29 | 10,4 |

* Dados fornecidos pela Cia Suzano de Papel e Celulose.

H = Altura total; DAP = Diâmetro a altura do peito; IMA = Incremento médio anual.

Quadro 2 – Atributos físicos do Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e do Neossolo Quartzarênico (RQ), sob os povoamentos florestais estudados

Table 2 – Physical attributes on a Typic Hapludox (RED) and Typic Quartzipsamment (QTZ) under the forest stands studied

| Profundidade cm | Areia ¹ | g kg ⁻¹ | | Densidade do solo | Densidade das partículas g cm ⁻³ |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|--|
| | | Silte | Argila ² | | |
| | | LVd | | | |
| 0-20 | 683 | 143 | 174 | 1,28 | 2,7 |
| 20-40 | 723 | 64 | 213 | 1,29 | 2,8 |
| | | RQ | | | |
| 0-20 | 917 | 27 | 56 | 1,37 | 2,7 |
| 20-40 | 917 | 10 | 73 | 1,39 | 2,7 |

¹ Peneiramento; ² Método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

Quadro 3 – Atributos químicos dos solos sob os povoamentos de eucaliptos, baseados em amostragens realizadas em janeiro de 2002

Table 3 – Chemical attributes of soils under eucalypt stands, based on samplings taken in January 2002

| Prof. cm | P-resina ¹ mg kg ⁻¹ | MO ² . g kg ⁻¹ | pH ³ | Cátions trocáveis ¹ | | | |
|-------------|--|---|-----------------|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ |
| | | | | cmol _c kg ⁻¹ | | | |
| | | | | LVd | | | |
| 0-10 | 12 | 42 | 3,5 | 0,12 | 0,55 | 0,35 | 3,58 |
| 10-20 | 5 | 19 | 3,9 | 0,06 | 0,13 | 0,20 | 2,69 |
| 20-30 | 4 | 19 | 3,9 | 0,05 | 0,12 | 0,13 | 2,58 |
| 30-50 | 3 | 14 | 3,9 | 0,04 | 0,17 | 0,13 | 2,32 |
| 50-100 | 3 | 13 | 4,0 | 0,04 | 0,12 | 0,14 | 2,06 |
| | | | | RQ | | | |
| 0-10 | 10 | 30 | 3,5 | 0,10 | 0,25 | 0,19 | 2,06 |
| 10-20 | 6 | 14 | 4,0 | 0,08 | 0,08 | 0,05 | 1,37 |
| 20-30 | 3 | 11 | 4,0 | 0,07 | 0,08 | 0,11 | 1,11 |
| 30-50 | 3 | 10 | 4,0 | 0,07 | 0,08 | 0,03 | 1,11 |
| 50-100 | 1 | 8 | 4,1 | 0,06 | 0,08 | 0,03 | 1,11 |

Extratores: ¹ resina de troca iônica (RAIJ et al., 2001); ² dicromato de potássio e ácido sulfúrico; ³ CaCl₂ 0.01 mol L⁻¹ (razão solo/solução 1:5).

As equações para estimativa da biomassa dos componentes das árvores foram ajustadas a partir de dados coletados com a amostragem destrutiva de 10 árvores em cada sítio florestal. Foram definidas cinco classes de diâmetro, com duas árvores por classe amostrada. As árvores-amostra foram abatidas e os componentes da copa (galhos e folhas), pesados. Amostras de cerca de 200 g de todos os componentes foram coletadas para determinação do peso de matéria seca em estufa a 75 ± 2 °C. Os pesos de matérias secas totais de galhos e folhas foram calculados a partir do peso de matéria fresca total e do teor de umidade (REIS et al., 1985).

A determinação do volume do fuste com e sem casca foi realizada a partir da cubagem rigorosa e pela aplicação sucessiva da expressão de Smalian, em seções de 2 m de comprimento até um diâmetro-limite de 3 cm. Em seguida foram retirados discos de madeira com casca, de aproximadamente 2,5 cm de espessura, das extremidades das seções que correspondem à base, ao meio e ao topo de cada árvore-amostra. Os discos foram utilizados para o cálculo da densidade básica da madeira do fuste e da densidade básica da casca de cada árvore-amostra (VITAL, 1984). As estimativas das biomassas do fuste e da casca do fuste foram, então, obtidas pela multiplicação do volume pela respectiva densidade básica.

A biomassa de raízes foi determinada pela combinação da amostragem com sonda para raízes finas < 3 mm em diâmetro e pelo método de escavação para raízes > 3 mm em diâmetro. Uma trincheira foi escavada ao redor de cada árvore (3 m × 2 m e 1 m de profundidade). Todas as raízes maiores que 3 mm em diâmetro foram separadas do solo por peneiramento e catação manual. A raiz pivotante e as outras raízes mais grossas foram retiradas da trincheira com uma retroescavadeira equipada com um braço hidráulico. A biomassa fresca total de raízes médias e grossas foi determinada numa balança com capacidade máxima para 300 kg. Cerca de 200 g de raízes foram amostradas de cada árvore, para determinação do peso de matéria seca em estufa a 75 ± 2 °C. Esse peso total de raízes > 3 mm foi calculado a partir de seu peso de matéria fresca total.

As raízes finas foram amostradas com uma sonda (45 mm de diâmetro interno) no meio da linha de plantio e no meio da entrelinha, a uma distância de 100 e 150 cm, respectivamente, da árvore (ou toco) selecionada. As profundidades amostradas foram: 0-10, 10-20, 20-30, 30-50 e 50-100 cm. As raízes foram cuidadosamente lavadas em água corrente sobre uma peneira de cerca de 0,5 mm de vão, para remoção das partículas de solo aderidas e, posteriormente, decantação das partículas de solo restantes numa bandeja branca. As raízes foram separadas de fragmentos de folhas e outros detritos orgânicos, com o auxílio de pinças; as raízes vivas foram separadas das mortas, tendo por base alguns atributos visuais: coloração mais clara, aparência translúcida e por não se quebrarem facilmente quando submetidas à pequena torção (GONÇALVES e MELLO, 2000).

Para as estimativas das biomassas dos componentes da parte aérea e do sistema radicular das árvores-amostra, foram utilizados o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura (H) (SCHUMACHER e HALL, 1933) ou a sua combinação (DAP²H), como variáveis independentes para o ajuste dos seguintes modelos testados:

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln \text{DAP} + \beta_2 \cdot \ln H + \varepsilon \quad (1)$$

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln \text{DAP}^2 H + \varepsilon \quad (2)$$

em que:

Ln = logaritmo neperiano;

Y = biomassa, em kg;

β_i = parâmetros do modelo, para $i = 1, 2$ e 3 ;

DAP = diâmetro a 1,3 m de altura, em cm;

H = altura total, em m; e

ε = erro aleatório.

Para avaliar a precisão das equações, foram utilizados o coeficiente de determinação (R^2), o erro-padrão da estimativa ($S_{y,x}$) e a análise gráfica de resíduos percentuais ($R\%$), de acordo com Paula Neto (1977):

$$R\% = \frac{Y_{est} - Y_{obs}}{Y_{obs}} \cdot 100 \quad (3)$$

em que:

Y_{est} = média estimada de biomassa (kg); e

Y_{obs} = média observada de biomassa (kg).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações se ajustaram bem aos dados observados pela análise conjunta dos respectivos coeficientes de determinação (R^2) e pelo erro-padrão da estimativa ($S_{y,x}$) (Quadros 4 e 5). As equações para estimativa das biomassas do fuste e da casca apresentaram as melhores capacidades preditivas, inclusive quando se utilizaram equações comuns aos dois sítios deste estudo. As equações de regressão ajustadas para estimativa da biomassa do fuste geralmente se aplicam a vários sítios, graças à relação consistente entre a biomassa do fuste e o tamanho das árvores (REIS et al., 1985). No modelo de Schumacher e Hall (1933), a variável DAP foi significativa a 95% de probabilidade, em todas as equações ajustadas, exceto para a estimativa da biomassa de galhos. Reis et al. (1985) também obtiveram ótimas estimativas para a biomassa do fuste, casca e raízes grossas quando utilizaram DAP e H e suas combinações como variáveis independentes em plantações de *Eucalyptus grandis* com idades entre 26 e 73 meses. A menor qualidade de ajuste obtida para a biomassa dos componentes da copa pode ser atribuída à competição entre as árvores de diferentes classes fitossociológicas, em que a biomassa de folhas e galhos é muito dependente da posição relativa desses componentes na copa da árvore (REIS et al., 1985). Da mesma forma, usando as variáveis independentes DAP e H, Schumacher e Caldeira (2001) estimaram as biomassas de casca e galho com boa precisão em povoamentos de *Eucalyptus globulus* aos 4 anos de idade. No entanto, esses autores verificaram que a precisão nas estimativas das biomassas de folha

e galho foram menores. Para obter estimativa mais acurada da biomassa dos componentes da copa em plantações de eucaliptos, Satou e Madgwick (1982) sugeriram que, além do DAP e H como variáveis independentes, outras variáveis poderiam ser adicionadas, como a altura e o diâmetro da copa e a área basal do alburno. Timoni et al. (1997) recomendaram a inclusão do diâmetro do tronco na inserção do primeiro galho da copa. Soares et al. (1996) constataram que a inclusão do diâmetro do tronco na inserção do primeiro galho como variável dependente aumentou, significativamente, a precisão das estimativas das biomassas de galhos e de folhas em povoamentos de *Eucalyptus grandis*. Para espécies pouco tolerantes à sombra, como *Eucalyptus grandis*, a relação entre a biomassa dos componentes da copa e o diâmetro da árvore varia amplamente após o fechamento da copa. Em outras palavras, a biomassa relativa do fuste aumenta, enquanto a de folhas e de galhos diminui (SCHUMACHER e CALDEIRA, 2001). Além disso, Jokela et al. (1986) mencionaram que a biomassa dos componentes da copa são particularmente influenciados pela qualidade do sítio.

A variável altura total (H) não contribuiu significativamente para aumentar a eficácia dos modelos testados. Entretanto, as equações se ajustaram melhor aos dados observados quando se adotou o modelo de regressão linear logaritimizado, que possui DAP^2H

como variável independente.

As equações específicas para cada sítio apresentaram melhor ajuste para a estimativa da biomassa radicular, principalmente para a biomassa de raízes finas, apesar do pequeno número de árvores amostradas. Embora o R^2 da equação comum aos dois sítios tenha sido elevado (Quadro 4), o gráfico de dispersão dos dados das árvores-amostra revelou a existência de multicolinearidade entre os tamanhos das árvores, representados pelo DAP e pela biomassa de raízes finas (Figura 1). No sítio menos fértil, o RQ, as biomassas de raízes grossas e finas foram maiores que no LVd, com relação a um mesmo tamanho de tronco. Isso indica a existência de forte efeito do estresse edáfico na relação raiz/parte aérea (REIS et al., 1985). Numa cronosequência de povoamentos de *Eucalyptus grandis* em solos com diferentes potenciais produtivos, Reis et al. (1985) verificaram que a estimativa da biomassa de componentes da copa e de raízes médias (3-10 mm de espessura) e finas (<3 mm), por meio das variáveis independentes DAP e H, foram mais precisas quando se ajustaram equações específicas para cada tipo de solo. Além disso, a precisão das equações para estimar as biomassas de raízes finas poderia ser mais elevada caso as perdas de raízes fossem reduzidas no processo de escavação do solo e manuseio das raízes nas fases de amostragem e preparação das amostras (LACLAU, 2003).

Quadro 4 – Equações comuns (independente do local) para estimativa da biomassa dos componentes das árvores em povoamentos de *E. grandis* aos 11 anos de idade

Table 4 – Common equation estimation (for the two sites) for biomass of tree components in 11-year-old *Eucalyptus grandis* stands

| Componente | Equações | R ² | S _{y,x} | N |
|-------------|--|----------------|------------------|----|
| Fuste | $\text{LnY} = -4,54731^* + 2,13859^* \cdot \text{LnDAP} + 1,0236 \cdot \text{LnH}^*$ | 0,99 | 0,12 | 20 |
| | $\text{LnY} = -4,59711^* + 1,05811^* \cdot \text{LnDAP}^2\text{H}$ | 0,99 | 0,12 | 20 |
| Casca | $\text{LnY} = -4,447250^* + 2,325970^* \cdot \text{LnDAP} + 0,052383 \text{ n.s.} \cdot \text{LnH}$ | 0,96 | 0,22 | 20 |
| | $\text{LnY} = -5,65757^* + 0,891063^* \cdot \text{LnDAP}^2\text{H}$ | 0,97 | 0,24 | 20 |
| Folha | $\text{LnY} = -1,38279^{\text{n.s.}} + 3,42376^* \cdot \text{LnDAP} - 2,21783^{\text{n.s.}} \cdot \text{LnH}$ | 0,76 | 0,53 | 20 |
| | $\text{LnY} = -5,66536^* + 0,749721^* \cdot \text{LnDAP}^2\text{H}$ | 0,81 | 0,61 | 20 |
| Galho | $\text{LnY} = -6,78445^{\text{n.s.}} + 3,20033^* \cdot \text{LnDAP} - 0,288335^{\text{n.s.}} \cdot \text{LnH}$ | 0,71 | 0,88 | 19 |
| | $\text{LnY} = -8,80766^* + 1,13508^* \cdot \text{LnDAP}^2\text{H}$ | 0,83 | 0,87 | 19 |
| Raiz fina | $\text{LnY} = 5,99232^* + 4,69711^* \cdot \text{LnDAP} - 5,54655^* \cdot \text{LnH}$ | 0,63 | 0,66 | 19 |
| | $\text{LnY} = -3,55047^{\text{n.s.}} + 0,514285^* \cdot \text{LnDAP}^2\text{H}$ | 0,52 | 0,90 | 19 |
| Raiz grossa | $\text{LnY} = -4,11826^* + 2,35249^* \cdot \text{LnDAP} + 0,165873^{\text{n.s.}} \cdot \text{LnH}$ | 0,96 | 0,20 | 20 |
| | $\text{LnY} = -5,21936^* + 0,928862^* \cdot \text{LnDAP}^2\text{H}$ | 0,98 | 0,21 | 20 |

O coeficiente de determinação (R^2) e o erro padrão da estimativa ($S_{y,x}$) são baseados nos valores de log Y.

DAP = diâmetro a altura do peito, em cm.

H = altura total comercial (até 3 cm de diâmetro), em m.

* Valores dos coeficientes significativos a 5%, pelo teste t.

^{n.s.} Valores dos coeficientes não-significativos a 5%, pelo teste t.

Quadro 5 – Equações específicas para estimativa da biomassa dos componentes das árvores em povoamentos de *E. grandis* aos 11 anos de idade, localizados nos dois sítios estudados

Table 5 – Specific equation estimation for biomass of tree components in 11-year-old *Eucalyptus grandis* stands in the two sites studied

| Componente | Equações | R ² | S _{y,x} | N |
|-------------|--|----------------|------------------|----|
| LVd | | | | |
| Fuste | LnY = -3,40049* + 2,24372*.LnDAP + 0,598236 ^{n.s.} .LnH | 0,99 | 0,12 | 10 |
| | LnY = -3,90367* + 0,983491*.LnDAP ² H | 0,99 | 0,11 | 10 |
| Casca | LnY = -3,78059* + 1,97609*.LnDAP + 0,154087 ^{n.s.} .LnH | 0,93 | 0,24 | 10 |
| | LnY = -4,58199* + 0,767673*.LnDAP ² H | 0,96 | 0,24 | 10 |
| Folha | LnY = -2,02795 ^{n.s.} + 3,22156*.LnDAP - 1,81054 ^{n.s.} .LnH | 0,75 | 0,50 | 10 |
| | LnY = -5,3157* + 0,706699*.LnDAP ² H | 0,81 | 0,54 | 10 |
| Galho | LnY = -3,7698 ^{n.s.} + 2,58622 ^{n.s.} .LnDAP - 0,562812 ^{n.s.} .LnH | 0,80 | 0,49 | 9 |
| | LnY = -5,47774* + 0,795967*.LnDAP ² H | 0,88 | 0,48 | 9 |
| Raiz fina | LnY = -16,4014* + 1,58772*.LnDAP + 3,59973 ^{n.s.} .LnH | 0,95 | 0,31 | 9 |
| | LnY = -12,2075* + 1,37722*.LnDAP ² H | 0,97 | 0,30 | 9 |
| Raiz grossa | LnY = -4,48749* + 1,77292*.LnDAP + 0,75067 ^{n.s.} .LnH | 0,96 | 0,21 | 10 |
| | LnY = -4,61798* + 0,850577*.LnDAP ² H | 0,98 | 0,19 | 10 |
| RQ | | | | |
| Fuste | LnY = -6,15754* + 1,80879*.LnDAP + 1,8094*.LnH | 0,99 | 0,06 | 10 |
| | LnY = -5,03587* + 1,10575*.LnDAP ² H | 0,99 | 0,08 | 10 |
| Casca | LnY = -5,42855* + 2,32748*.LnDAP + 0,354028 ^{n.s.} .LnH | 0,98 | 0,19 | 10 |
| | LnY = -6,43212* + 0,983592*.LnDAP ² H | 0,99 | 0,19 | 10 |
| Folha | LnY = 6,32932 ^{n.s.} + 5,98331*.LnDAP - 6,91803*.LnH | 0,88 | 0,46 | 10 |
| | LnY = -5,9529* + 0,78689*.LnDAP ² H | 0,81 | 0,74 | 10 |
| Galho | LnY = -1,29486 ^{n.s.} + 5,96278 ^{n.s.} .LnDAP - 4,52131 ^{n.s.} .LnH | 0,78 | 0,99 | 10 |
| | LnY = -10,5938* + 1,31215*.LnDAP ² H | 0,85 | 1,03 | 10 |
| Raiz fina | LnY = -0,0483763 ^{n.s.} + 1,4766*.LnDAP - 0,773442 ^{n.s.} .LnH | 0,95 | 0,12 | 10 |
| | LnY = -1,92205* + 0,401959*.LnDAP ² H | 0,96 | 0,15 | 10 |
| Raiz grossa | LnY = -5,93845* + 1,94481*.LnDAP + 1,11103 ^{n.s.} .LnH | 0,99 | 0,16 | 10 |
| | LnY = -5,76663* + 1,00325*.LnDAP ² H | 0,99 | 0,15 | 10 |

O coeficiente de determinação (R²) e o erro padrão da estimativa (S_{y,x}) são baseados nos valores de log Y. DAP = diâmetro a altura do peito, em cm. H = altura total comercial (até 3 cm de diâmetro), em m. Todas as equações são significativas ao nível de 5% de probabilidade. * Valores dos coeficientes significativos a 5%, pelo teste t. ^{n.s.} Valores dos coeficientes não-significativos a 5%, pelo teste t.

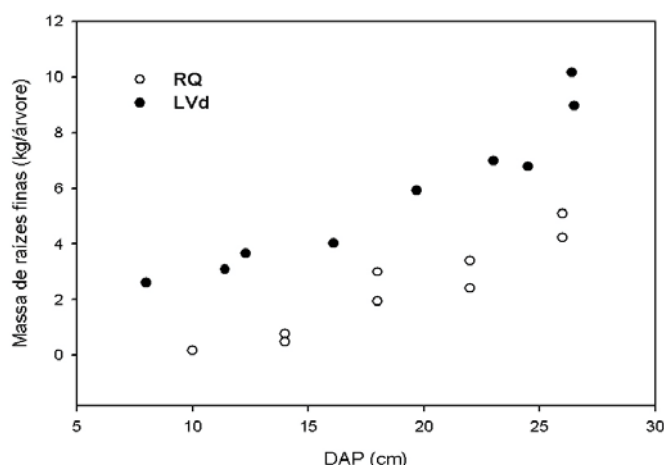


Figura 1 – Gráficos de dispersão da biomassa de raízes finas em função dos diâmetros (DAP) das árvores-amostra nos dois sítios. RQ = Neossolo Quartzarênico; LVd = Latossolo Vermelho Distrófico.

Figure 1 – Dispersion of fine root biomass in function of diameters (DBH) of sample-trees in both sites.

As análises gráficas dos resíduos percentuais apresentados nas Figuras 2 e 3 foram realizadas nos modelos que possuem DAP^2H como variável independente. Verificaram-se homogeneidade na distribuição dos resíduos e sua reduzida amplitude nas equações comuns para a estimativa da biomassa do fuste e da casca e nas equações

específicas para raízes grossas e finas. Houve tendência de as equações subestimarem a biomassa de casca das árvores com DAP menores que 10 cm. As distribuições dos resíduos revelaram que, apesar do R^2 acima de 0,70, os modelos não foram bem ajustados para a estimativa da biomassa de galhos e folhas.

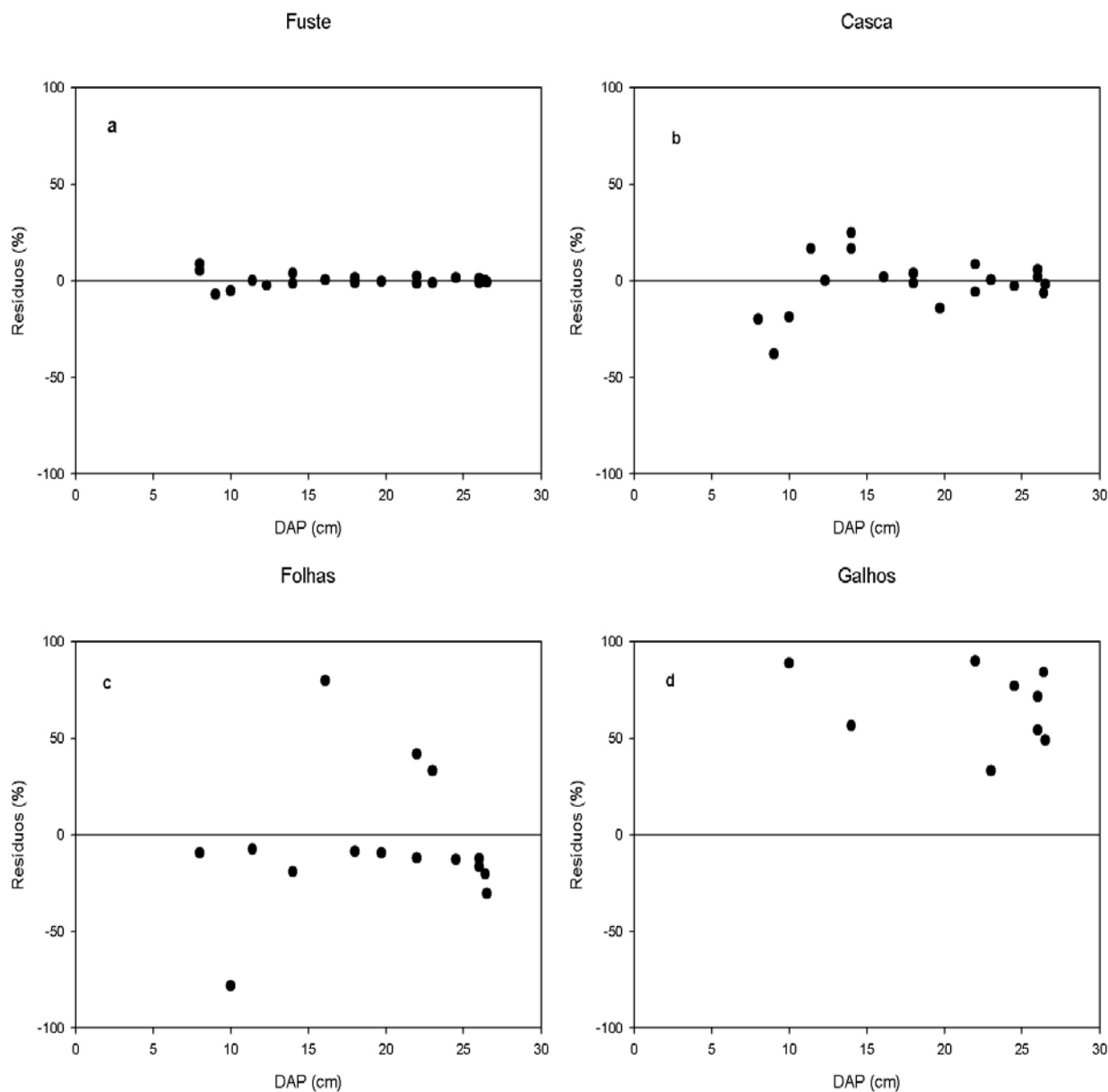


Figura 2 – Distribuição dos resíduos percentuais das equações comuns para a estimativa das biomassas do fuste (a), casca (b), folhas (c) e galhos (d), em função dos diâmetros (DAP) das árvores-amostra nos dois sítios.

Figure 2 – Distribution of the percentage residues of common equation estimation for stem (a), bark (b), leaves (c) and branches (d) biomasses, in function of diameter at breast height (DBH) of sample-trees in both sites.

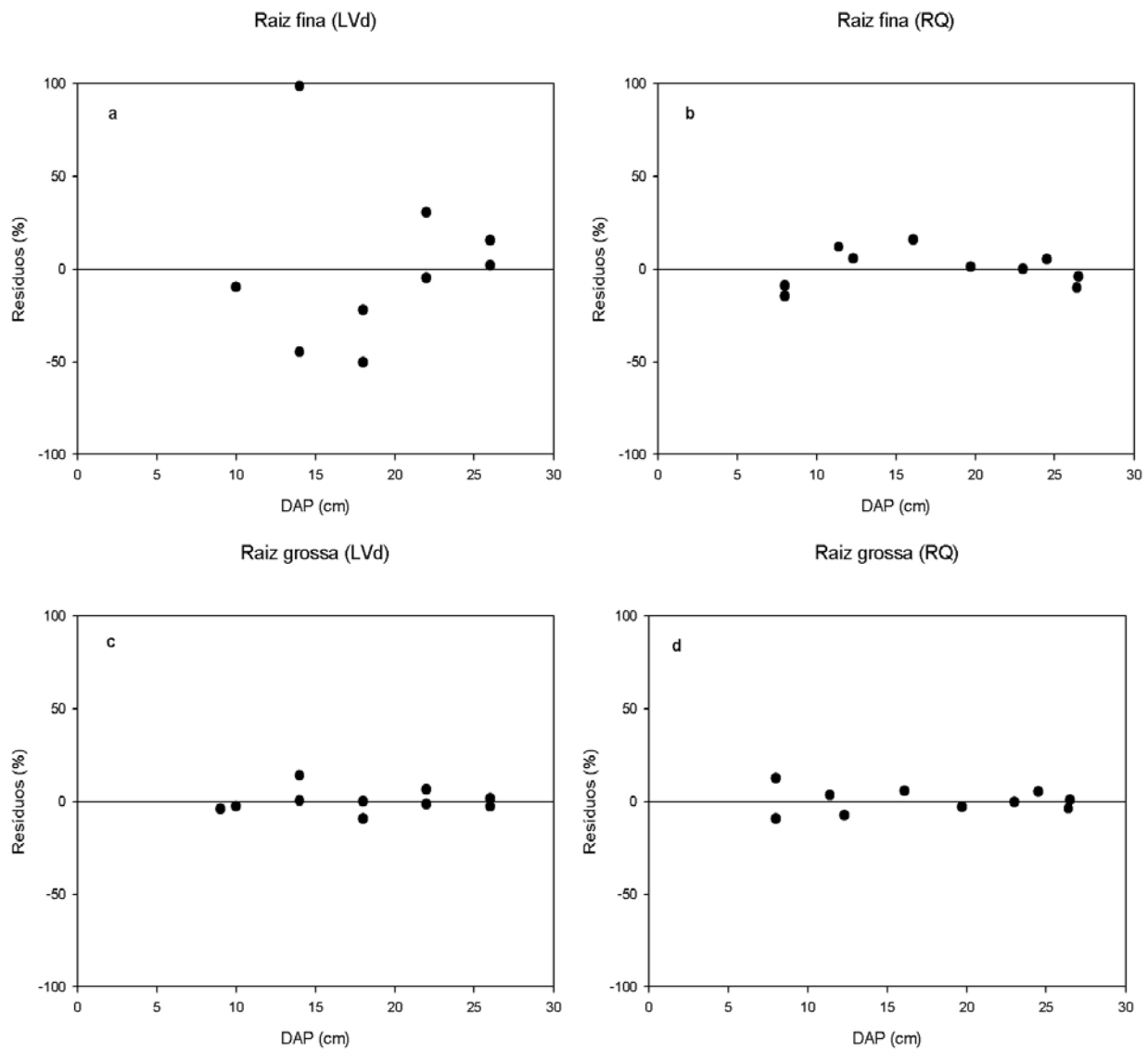


Figura 3 – Distribuição dos resíduos percentuais das equações específicas para cada sítio deste estudo, para a estimativa das biomassas de raízes finas (a, b) e grossas (c, d), em função dos diâmetros (DAP) das árvores-amostra. RQ = Neossolo Quartzarênico; LVd = Latossolo Vermelho Distrófico.

Figure 3 – Distribution of the percentage residues of specific equation estimation for fine (a, b) and coarse roots (c, d), in function of diameter at breast height (dbh) of the sample-trees in each site.

4. CONCLUSÕES

- Os modelos ajustados com a variável combinada DAP^2H foram melhores que aqueles com as variáveis DAP e H separadamente.

- As equações foram satisfatoriamente precisas para estimar a biomassa do fuste e da casca, baseadas na análise conjunta do coeficiente de determinação

(R^2), e do erro-padrão da estimativa ($S_{y,x}$) e na análise gráfica dos resíduos.

- Apesar do elevado coeficiente de determinação (R^2), as equações ajustadas para estimar a biomassa de folhas e galhos apresentaram baixa capacidade preditiva, baseando-se na análise gráfica dos resíduos.

-As equações específicas de cada local apresentaram melhor capacidade preditiva para estimar a biomassa de raízes finas e grossas.

5. REFERÊNCIAS

BASKERVILLE, G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. **Canadian Journal of Forest Research**, v.2, n.1, p.49-53, 1972.

BERNARDO, A. L. et al. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.104, n.1, p.1-13, 1998.

BRACK, C. L.; RICHARDS, G. P. Carbon accounting model for forests in Australia. **Environmental Pollution**, v.116, n.1, p.187-194, 2002.

CAMPOS, J. C. C. et al. Relações entre espaçamento, volume e peso de madeira em plantações de eucaliptos. **Revista Árvore**, v.14, n.1, p.119-133, 1990.

DRAKE, J. B. et al. Sensitivity of large-footprint lidar to canopy structure and biomass in a neotropical rainforest. **Remote Sensing of Environment**, v.81, p.378-392, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: 1999. 412p.

ERICSSON, T.; RYTTER, L.; VAPAAVUORI, E. Physiology of carbon allocation in trees. **Biomass and Bioenergy**, v.11, n.2/3, p.115-127, 1996.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF-FAPESP, 2000. p.219-267.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v.193, n.1, p.45-61, 2004.

HENDRICK, R. L.; PREGITZER, K. S. Temporal and deep-related patterns of fine root dynamics in northern hardwood forests. **Journal of Ecology**, v.84, n.1, p.167-176, 1996.

IPCC, 2003. **Report on good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.htm>>. Acesso em: 18 mar 2006.

JOKELA, E. J. et al. Biomass estimation equations for Norway spruce in New York. **Canadian Journal of Forest Research**, v.16, n.1, p.413-415, 1986.

LACLAU, P. Root biomass and carbon storage of ponderosa pine in a northwest Patagônia plantation. **Forest Ecology and Management**, v.173, p.353-360, 2003.

LADEIRA, B. C. et al. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos em uma seqüência de idade. **Revista Árvore**, v.25, n.1, p.69-78, 2001.

MONTES, N. et al. A non-destructive method for estimating above-ground forest biomass in threatened woodlands. **Forest Ecology and Management**, v.130, n.1, p.37-46, 2000.

PARRESOL, B. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. **Forest Science**, v.45, n.4, p.573-593, 1999.

PAULA NETO, F. Tabelas volumétricas com e sem casca para *Eucalyptus saligna*. **Revista Árvore**, v.1, n.1, p.31-54, 1977.

RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

REIS, M. G. F. et al. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v.9, n.2, p.149-162, 1985.

RESH, S. C. et al. Coarse root biomass for eucalypt plantations in Tasmania, Australia: sources of variation and methods for assessment. **Trees**, v.17, p.389-399, 2003.

SATOO, T.; MADGWICK, H. A. I. **Forest biomass**. The Hague: Martinus Nijhoff, 1982. 151p.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v.47, n.9, p.719-734, 1933.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, v.11, n.1, p.45-53, 2001.

SNOWDON, P. et al. **Synthesis of allometrics, review of root biomass and design of future woody biomass sampling strategies**. Canberra: Australian Green-house Office 2000. 114p. (National carbon Accounting System Technical Report, 17).

SOARES, C. P. B. et al. Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis* na região de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.20, n.2, p.179-189, 1996.

TER-MIKAELIAN, M. T.; KORZUKHIN, M. D. Biomass equations for sixty-five North American tree species. **Forest Ecology and Management**, v.97, n.1, p.1-4, 1997.

TIMONI, J. L.; VEIGA, R. A. A.; PINHEIRO, G. S. Determinação de equações para quantificação da biomassa da copa de árvores de *Eucalyptus saligna* Smith aos 22 anos. **Revista do Instituto Florestal**, v.9, n.1, p.61-69, 1997.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico SIF**, n.1, p.1-21, 1984.

ZIANIS, D.; MENCUCCINI, M. On simplifying allometric analyses on forest biomass. **Forest Ecology and Management**, v.187, p.311-332, 2004.