



QUANTIFICAÇÃO DE ESTOQUES DE BIOMASSA E CARBONO NO PLANTIO DE UM HÍBRIDO *Eucalyptus urophylla* vs. *Eucalyptus grandis* EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

SEREGHETTI, Guilherme Corrêa¹; SOLER, Rafael Ribeiro²; SOUZA, Fábio Monteiro Leite³
LANÇAS, Kléber Pereira⁴; GUERRA, Saulo Philipe Sebastião⁵

RESUMO – (QUANTIFICAÇÃO DE ESTOQUES DE BIOMASSA E CARBONO NO PLANTIO DE UM HÍBRIDO *Eucalyptus urophylla* vs. *Eucalyptus grandis* EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS) Objetivou-se quantificar a biomassa de fuste e o estoque de carbono em diferentes espaçamentos de plantios de um clone de eucalipto. O experimento foi conduzido em Sarapuí - SP, utilizando o delineamento experimental em blocos ao acaso, com três blocos contendo nove tratamentos quanto ao espaçamento de plantio. A partir dos volumes obtidos e da densidade básica de cada parcela, calculou-se a biomassa de fuste e foi realizado a quantificação do estoque de carbono. Concluiu-se que os espaçamentos menores produzem maior quantidade de biomassa de fuste por hectare e, por conseguinte, maior estoque de carbono armazenado.

Palavras-chave: eucalipto, biomassa de fuste, estoque de carbono.

ABSTRACT – (QUANTIFICATION OF BIOMASS AND CARBON STORAGE IN PLANTING OF A HYBRID *Eucalyptus urophylla* vs. *Eucalyptus grandis* IN DIFFERENTS SPACINGS) It aimed to quantify the stem biomass and the carbon storage in different planting spacing of an eucalyptus clone. The experiment was conducted in Sarapuí -SP using experimental design at random blocks, with three blocks each one and contained nine treatments according to planting spacing. On the basis of the calculated volumes and the basic density of each plot, it was calculated the stem biomass and it was carried the carbon storage quantification. It was concluded the minors spacing products more stem biomass per hectare and, consequently, more carbon storage stored.

Keywords: eucalyptus, stem biomass, carbon storage.

¹ Doutorando em Ciência Florestal - FCA/UNESP – Botucatu/SP - gcsereghetti@hotmail.com

² Mestrando em Energia na Agricultura – FCA/UNESP – Botucatu/SP - rrsoler22@hotmail.com

³ Doutorando em Ciências Florestais - FCA/UNESP – Botucatu/SP – fabio.florestal@hotmail.com

⁴ Docente, Departamento de Engenharia Rural – FCA/UNESP – Botucatu/SP – kplancas@fca.unesp.br

⁵ Docente, Departamento de Economia, Sociologia e Tecnologia – FCA/UNESP – Botucatu/SP – ssguerra@fca.unesp.br

1. INTRODUÇÃO

O conceito de fixação de carbono, normalmente, relaciona-se com a ideia de armazenar reservas de carbono em solos, florestas e outros tipos de vegetação. Também se promove o incremento nas reservas de carbono pelo estabelecimento de novas plantações florestais, sistemas agroflorestais e pela recuperação de áreas degradadas. Em teoria, o efeito da captura por processos de reflorestamento e florestamento pode ser quantificado estimando-se o armazenamento de carbono atmosférico na biomassa e no solo da floresta (BALBINOT et al., 2003).

A quantidade de carbono fixado e o seu tempo de residência no ecossistema dependem, entre outros fatores, da idade da planta, formas de manejos, do componente onde o carbono é alocado e do uso destinado à madeira (DIAZ-BALTEIRO; RODRIGUEZ, 2006). Campos (2001) afirma que diferentes tipos de formações florestais apresentam distintos estoques de carbono por hectare.

O conceito de fixação de carbono, normalmente, relaciona-se com a ideia de armazenar reservas de carbono em solos, florestas e outros tipos de vegetação. Também se promove o incremento nas reservas de carbono pelo estabelecimento

de novas plantações florestais, sistemas agroflorestais e pela recuperação de áreas degradadas. Em teoria, o efeito da captura por processos de reflorestamento e florestamento pode ser quantificado estimando-se o armazenamento de carbono atmosférico na biomassa e no solo da floresta (BALBINOT et al., 2003).

Plantações de florestas energéticas cultivadas de modo que se obtenha maior ganho de biomassa podem afetar os níveis de CO₂ não só por sequestro de carbono, mas também pela substituição do combustível fóssil pela biomassa produzida (JOSE e BARDHAN, 2012).

Assim este trabalho tem como objetivo quantificar a biomassa e o estoque de carbono retido no plantio de *Eucalyptus* em diferentes espaçamentos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área

O experimento foi conduzido na Fazenda São Bento, localizada no município de Sarapuí, SP. O solo que caracteriza a região de estudo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média arenosa.

Segundo a classificação climática de Köppen, o tipo climático é o Cwa,

caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com as médias térmicas entre 19°C e 27°C (CEPAGRI, 2015).

2.2 Delineamento experimental

Na área experimental foram plantadas mudas do híbrido de *Eucalyptus urophylla* vs. *Eucalyptus grandis* as quais receberam adubações de plantio e de cobertura.

Foram avaliados três espaçamentos entre plantas: 1,0 m; 1,5 m; 2,0 m, e as distâncias entre linhas foram de: 2,0 m; 3,0 m; 4,0 m, totalizando nove espaçamentos.

O experimento foi instalado utilizando-se o delineamento em blocos ao acaso, contendo três blocos, com nove tratamentos quanto ao espaçamento de plantio, variando a área útil de cada planta entre 2,0 e 8,0 m². Os tratamentos utilizados foram: T1: 2 x 1 m; T2: 2 x 1,5 m; T3: 2 x 2 m; T4: 3 x 1 m; T5: 3 x 1,5 m; T6: 3 x 2 m; T7: 4 x 1 m; T8: 4 x 1,5 m e T9: 4 x 2 m (Figura 1). Cada parcela continha 72 m², determinando a quantidade de 09 a 36 plantas por parcela, além de uma bordadura dupla.

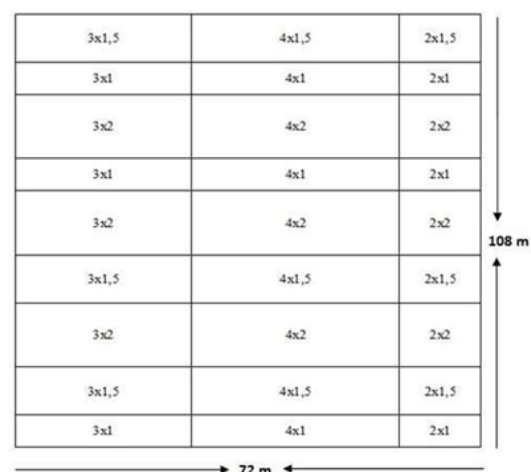


Figura 1. Distribuição das parcelas na área experimental.

2.3 Práticas silviculturais

2.3.1 Preparo de solo

Para realização do preparo de solo foi aplicado herbicida glifosato [N-(fosfometil) glicina, C₃H₈NO₅P] na área junto com o inseticida e formicida de contato com fipronil [(RS)-5-amino-1-[2,6-dichloro-4-(trifluoromethyl)phenyl]-4-(trifluoromethylsulfinyl)-1H-pyrazole-3-carbonitrile]] para combate de gramíneas e insetos. Posterior a isso foi realizado a subsolagem com 50 cm de profundidade para que ocorresse a descompactação do solo.

2.3.2 Adubação

A adubação de base foi realizada conforme a utilizada pela empresa onde se realizou o estudo, sendo constituída de 300 kg ha⁻¹ da formulação NPK 04-18-04 +

1,954% S + 0,300% B + 0,100% Cu + 0,300% Zn, aplicados em covetas laterais. Para que todos os tratamentos recebessem a mesma quantia de adubo por área, foi necessário que a adubação por planta variasse de acordo com o espaçamento.

A adubação de cobertura foi realizada aos 06 meses de idade utilizando 200 kg ha⁻¹ do adubo NPK 20-05-20 + 2,382 % S + 0,300 % B + 0,300 Zn. Assim como na adubação de base houve uma variação na adubação por planta conforme o espaçamento.

2.3.3 Controle de plantas daninhas e combate a formigas

Foi realizado o coroamento das mudas aos dois meses de idade, após isso foi realizado quando necessário roçadas entre linhas e capina química entre plantas. Regularmente era realizada uma inspeção na área a fim de se ter um controle sobre as formigas utilizando-se de iscas formicidas.

2.4 Quantificação da biomassa

O experimento foi avaliado aos 12 meses de idade, por meio da coleta de dados individuais de diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total das árvores de cada parcela. Posteriormente foi realizado a cubagem rigorosa, onde selecionou-se uma árvore de diâmetro médio por parcela, totalizando três amostras por tratamento, nas quais foram medidos os diâmetros a

cada metro até se atingir, aproximadamente, 20 mm, as alturas totais e os comprimentos das pontas para determinar o seu volume, conforme o método de Smalian descrito por Scolforo (1998).

Ao empregar as mesmas árvores, obteve-se o volume por meio do cálculo do volume cilíndrico, para obtenção do fator de forma (SCOLFORO, 1998) e, foi realizada uma média aritmética para obter o fator de forma de cada tratamento. De posse do fator de forma de cada tratamento, calculou-se o volume cilíndrico das demais árvores de cada parcela e multiplicou-se pelo fator de forma do tratamento, para obter o volume corrigido das árvores.

Para o cálculo da densidade básica da madeira foi utilizada as mesmas árvores que foram abatidas para o cálculo da cubagem rigorosa. Delas foram coletados discos nas alturas de 0%, 12,5%, 37,5% e 62,5% da altura total conforme descrito por Costa (2008), totalizando 108 amostras.

Para a determinação da densidade básica das amostras, utilizou-se o método de imersão em água que consiste em saturar a amostra e determinar o volume por meio do empuxo (BARBOSA; BREITSCHAFT, 2006).

Após a determinação do volume, os discos da madeira sem casca foram secos

até atingirem massa constante em uma estufa à $103 \pm 2^\circ \text{C}$. A partir da massa seca e do volume saturado foi determinada a densidade básica da madeira sem casca ao dividir a massa seca pelo seu respectivo volume saturado, seguindo a norma NBR 11941-02 (ABNT, 2003).

De posse dos dados de volume e densidade básica foram realizadas as estimativas de biomassa de fuste dos tratamentos através do produto da densidade básica da madeira do *i*-ésimo tratamento (Dim), pelos seus respectivos volume por hectare (Equação 1).

(Equação 1)

$$B_{mi} = V_{mi} * D_{mi}$$

Em que:

B_{mi} = biomassa da madeira do *i*-ésimo tratamento, em t ha^{-1} ;

V_{mi} = volume da madeira do tronco do *i*-ésimo tratamento, em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$; e

D_{mi} = densidade básica da madeira do *i*-ésimo tratamento, em g cm^{-3} .

2.5 Estoque de carbono (C)

Tabela 1. Análise de variância para a variável biomassa de fuste

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	8	67,1357	8,39197	6,784	0,0004
Erro	18	22,267	1,23706		
Total	26	89,4027			

Pode-se observar através da Tabela 2 que os espaçamentos menores apresentaram maior valor de estoque de biomassa, as diferenças estatísticas foram observadas no espaçamento $2 \times 1 \text{ m}$ ($6,78 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$) e $2 \times 1,5 \text{ m}$ ($6,58 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$) em

A partir dos dados de biomassa por tratamento, foram estimados os estoques de carbono do fuste (GOUDRIAAN, 1992), mediante ao emprego da equação 2.

$$EC = 0,5 * B \text{ (Equação 2)}$$

Em que:

EC = estoque de carbono, em t ha^{-1} ;

B = biomassa, em t ha^{-1} ; e

0,5 = fator de conversão de biomassa para carbono.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Biomassa de fuste aos 12 meses de idade

Foi realizada a análise de variância (Tabela 1) onde houve a constatação de diferença significativa entre os tratamentos ($P < 0,05$) e, por conseguinte, realizado o Teste de Tukey a 5% de significância.

relação ao $3 \times 2 \text{ m}$ ($2,94 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$) e $4 \times 2 \text{ m}$ ($1,42 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$).

Nos espaçamentos $2 \times 1,5 \text{ m}$ e $3 \times 1 \text{ m}$, onde ambos possuem a mesma área útil e diferentes arranjos de espaçamento

não foi encontrado nenhuma diferente significativa, porém observa-se uma tendência do espaçamento 2 x 1,5 m apresentar um maior valor de biomassa

no fuste, pois o espaçamento entre plantas é maior, evitando assim uma competição mais precoce, que pode ter ocorrido com o espaçamento 3 x 1 m.

Tabela 2. Média da biomassa de fuste ($t\ ha^{-1}$) para os diferentes espaçamentos

Tratamento	Biomassa de fuste ($t\ ha^{-1}$)
2 x 1 m	6,78 ^a
2 x 1,5 m	6,58 ^a
2 x 2 m	4,61 ^{ab}
3 x 1 m	4,51 ^{abc}
3 x 1,5 m	3,96 ^{abc}
4 x 1,5 m	3,85 ^{abc}
4 x 1,5 m	3,63 ^{abc}
3 x 2 m	2,94 ^{bc}
4 x 2 m	1,42 ^c

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p>0,05$).

Leite et al. (1997) constataram que a produção de biomassa é afetada pela densidade e pela idade do povoamento. Conforme Bradstock (1981), a capacidade produtiva do sítio influencia a taxa de crescimento e produção de biomassa e, aliada aos tratamentos silviculturais aplicados, interfere no crescimento e na alocação de carbono nos componentes das árvores.

Gatto et al. (2011) avaliaram a produção de biomassa e o estoque de carbono de árvores em plantações de eucalipto com diferentes idades no espaçamento 3 x 2 m na região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais, encontraram valores de $16,55\ t\ ha^{-1}$ até $40,62\ t\ ha^{-1}$. Quéno et al. (2011) estudando o custo da produção da

biomassa de eucalipto em diferentes tratamentos silviculturais, encontraram aos 24 meses de idade, no menor espaçamento (3 x 0,5 m) $48\ t\ ha^{-1}$ de biomassa, enquanto no maior espaçamento (3 x 3 m) obteve-se $25\ t\ ha^{-1}$ de biomassa. Schumacher e Caldeira (2001) estimaram que a quantidade de biomassa do tronco foi de $57\ t\ ha^{-1}$ em povoamentos de *Eucalyptus globulus* aos 48 meses de idade no espaçamento 3 x 2 m.

Santana et al. (1999) pesquisaram três procedências de *Eucalyptus grandis* e três de *Eucalyptus saligna*, aos 78 meses de idade no espaçamento 3 x 1,8 m no Estado de São Paulo, e estimaram a produção média de biomassa de *Eucalyptus grandis* em $145,40\ t\ ha^{-1}$

superior a de *Eucalyptus saligna*, que foi de 132,60 t ha⁻¹. Freitas et al. (2004), estudando uma população de *Eucalyptus grandis* no Rio Grande do Sul, com nove anos de idade no espaçamento 3 x 2 m encontraram em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em Alegrete – RS, aos nove anos de idade, a biomassa arbórea em 142,31 t ha⁻¹.

3.2 Estoque do carbono aos 12 meses de idade

Foi realizada a análise de variância (Tabela 3) onde observou-se uma diferença significativa entre os tratamentos ($P < 0,05$) e, por conseguinte, realizado o Teste de Tukey a 5% de significância.

Tabela 3. Análise de variância para a variável estoque de carbono

Fator de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	8	16,7843	2,09803	6,784	0,0004
Erro	18	5,56658	0,30925		
Total	26	22,3508			

Sampson (1995) garante que o carbono estocado nas florestas jovens ocorre em diferentes taxas ao longo do tempo, dependente das características da espécie, qualidade do sítio, tipo de solo e clima bem como das condições de sítio antes da implantação do povoamento.

Na Tabela 4, nota-se que os menores espaçamentos apresentaram maior valor de estoque de carbono no fuste e uma correlação positiva com o volume de biomassa. A diferença significativa foi observada entre os espaçamentos 2 x 1 m (3,39 t ha⁻¹) em comparação com o espaçamento 3 x 2 m (1,47 t ha⁻¹) e o 4 x 2 m (0,71 t ha⁻¹).

De acordo com o relatório emitido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT (2001), o total de carbono em uma árvore de eucalipto, em média, apresenta em sua distribuição 65% no tronco.

Gatto et al. (2011) avaliaram a produção de biomassa e o estoque de carbono de árvores em plantações de eucalipto com diferentes idades na região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais e encontraram valores de 8,38 t ha⁻¹ até 18,69 t ha⁻¹ de estoque de carbono no fuste aos 24 meses.

Leles et al. (1994) esclarecem que as mudanças e as diferenças de estoque

de carbono total no ecossistema são dependentes de fatores edafoclimáticas, mas principalmente da idade das árvores. Na fase de crescimento, as árvores retiram quantidades significativas de carbono da atmosfera, mas, à medida que

o ritmo de crescimento se torna estável ou diminui as quantidades de CO₂ fixadas também diminuem, em virtude de que as taxas de respiração e fotossíntese se igualam.

Tabela 4. Média do estoque de carbono (t ha⁻¹) para os diferentes espaçamentos

Tratamento	Estoque de carbono (t ha ⁻¹)
2 x 1 m	3,39 ^a
2 x 1,5 m	3,29 ^a
2 x 2 m	2,31 ^{ab}
3 x 1 m	2,25 ^{abc}
3 x 1,5 m	1,98 ^{abc}
4 x 1,5 m	1,93 ^{abc}
4 x 1,5 m	1,82 ^{abc}
3 x 2 m	1,47 ^{bc}
4 x 2 m	0,71 ^c

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey (p>0,05).

4. CONCLUSÃO

Na presente pesquisa, o *Eucalyptus urophylla* vs *Eucalyptus grandis* submetido a diferentes espaçamentos mostrou que o menor espaçamento produziu uma maior quantidade de biomassa do fuste e uma maior quantidade de estoque de carbono por hectare.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo concedida

para realização do projeto de mestrado do primeiro autor.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941-02 - Determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro, 2003. 6p.
- BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M. V.; WATZLAWICK, L. F. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, vol. 5, n. 1, Jan/Jun 2003.
- BARBOSA, V. C.; BREITSCHAFT, A. M. S. Um aparato experimental para o estudo do princípio de Arquimedes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 115-122, 2006

BRADSTOCK, R. Biomass in an age series of *Eucalyptus grandis* plantations. **Australian Forest Research**, 11:111-127, 1981.

CAMPOS, C. P. **A conservação das florestas no Brasil, mudança do clima e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. 2001. 169f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

CRISTIE, S. I.; SCHOLLES, R. J. Carbon storage in eucalyptus and pine plantations in South Africa. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 38, n. 2/3, p. 231-241, Jan. 1995.

DIAZ-BALTEIRO, L.; RODRIGUEZ, L. C. E. Optimal rotation on Eucalyptus plantation including carbon sequestration – a comparison of results in Brazil and Spain. **Forest Ecology Management**, v.229, n.1/3, p.247-258, 2006.

ECOAR – Instituto Ecoar para Cidadania. **Efeito estufa**. São Paulo, 2003. 5p.

FREITAS, R.; SHUMACHER, M. V.; CALDEIRAS, M. V. W., SPATHELF, P. Biomassa e conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden plantado em solo sujeito a arenização, no município de Alegrete-RS. **Biomassa e Energia**, Viçosa (MG), v.1, n.1, p.93-104, 2004.

GATTO, A.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de; LEITE, H. G.;

VILLANI, E. M. A. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.4, p.895-905, 2011.

GOUDRIAN, J. Adónde va El gás carbônico?:El papel da La vegetación. **Mundo Científico**, v. 126, n. 12, p. 687,692, 1992.

HOEN, H.; SOLBERG, B. Potential and economic efficiency of carbon sequestration in Forest biomass through silvicultural management. **Forest science**, v. 40, n. 3, p. 429-451, 1994.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores, 2014. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em: 20 de janeiro de 2015

JOSE, S.; BARDHAN, S. Agroforestry for biomass production and carbon sequestration: An overview. **Springer Science+Business Media Dordrecht**, Oct. 2012.

LEITE, F. P.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de; SANS, L. M. A.; FABRES, A. S. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 21, n. 3, p. 313-321, 1997.

LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N.; SILVA, E. **Captura e fluxo de CO2 atmosférico pelas florestas plantadas e manejadas**. Viçosa, 1994. 13 p. (Boletim Técnico – SIF, n. 7).

QUÉNO, L. M. R.; SOUZA, A. N. de; ÂNGELO H.; VALE, A. T. do; MARTINS, I. S. Custo de produção das biomassas de eucalipto e capim-elefante

para energia. **Cerne**, Lavras, v.17, n.3, p.417-426, jul./set. 2011.

RAMÍREZ, O.; GÓMEZ, M.; SHULTZ, S. **Valuing the contribution of plantation forestry to the national accounts of Costa Rica from the ecological economics perspective.** Beijer Research Seminar. Costa Rica, 1997. 28 p.

SAMPSON, R. N. The role of Forest management in affecting soil carbon: policy considerations. IN: LAL, R. et al. **Soil Management and Greenhouse Effect.** Florida: CRC Press, 1995. P. 339-350.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.56, p.155-169, 1999.

SCOLFORO, J.R.S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas.** Lavras: UFLA, 1998. 441p.

SHUMACHER, 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**, Santa Maria, v.11, n.1, p.45-53, 2001.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Production and carbon allocation in a clonal Eucalyptus plantation with water and nutrient manipulations. **Forest Ecology Management**, v.255, n.3/4, p.920-930, 2008.