



## NOTA TÉCNICA

Rodrigo Otávio Veiga de Miranda<sup>1\*</sup>  
Afonso Figueiredo Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Departamento de Engenharia Florestal, PR 153, km 7, Riozinho, 84500-000, Irati, PR, Brasil

\*Autor Correspondente:

E-mail: rovmiranda@yahoo.com.br

### PALAVRAS-CHAVE

Crescimento e produção florestal  
Pgnose  
Modelagem florestal  
Programa econométrico

### KEYWORDS

Forest growth and yield  
Prognosis  
Forest modeling  
Econometric software

## Ajuste do modelo de Clutter utilizando o programa Gretl

### *Adjusting the Clutter's model using the Gretl software*

**RESUMO:** Modelos de crescimento e produção são ferramentas essenciais no planejamento de empresas florestais, sendo o modelo de Clutter um dos mais empregados no Brasil. O objetivo foi demonstrar os passos necessários para o ajuste do modelo de Clutter pelo método dos mínimos quadrados em dois estágios, utilizando o programa Gretl. Para isso, foram empregados dados de parcelas permanentes em povoamentos clonais de eucalipto, com idade variando de 27 a 78 meses. A forma de organização da base de dados e as etapas para sua importação para o programa foram indicadas em detalhes. As variáveis necessárias ao ajuste de modelo e a disposição do sistema de equações também foram explicadas. Finalmente, foram comentados os resultados e sua interpretação. O programa Gretl representa uma alternativa eficaz no ajuste do modelo de Clutter, sobretudo pela facilidade de manuseio e por não possuir custos.

**ABSTRACT:** Growth and yield models are essential tools in the planning of forestry companies. In Brazil, the Clutter's model is one of the most commonly used. The aim was to demonstrate the necessary steps for the adjustment of the Clutter's model by two-stage least square method, using the Gretl software. For this, we employed data from permanent plots in clonal eucalyptus stands, with age from 27 to 78 months. The database was organized in a specific way. The organization and the steps to import the database were specified in details. The required variables to fit the model and the arrangement of the system of equations were also explained. Finally, were the results and their interpretation were also commented. The Gretl software represents an effective alternative on adjustment of Clutter's model, especially because it has no costs and it's easy to handle.

Recebido: 04 nov. 2016

Aceito: 15 fev. 2017

## 1 Introdução

Os modelos de crescimento e produção são importantes ferramentas para a obtenção de informações a respeito de povoamentos florestais e, além de permitirem o conhecimento de seu comportamento, auxiliam na prescrição de regimes de manejo ou tratos silviculturais mais adequados (Santos, 2012). Os modelos de crescimento podem ser classificados em empíricos, quando se estabelece uma relação puramente artificial entre a variável dependente e as variáveis independentes, e em modelos de base biológica, quando são derivadas diretamente a partir de proposições lógicas sobre as relações entre as variáveis. Os primeiros são úteis para interpolação e podem ser formulados para proporcionar previsões biologicamente realistas abrangendo grande leque de valores (Vanclay, 1994). Nesses, as estimativas por unidade de área são obtidas a partir de variáveis do povoamento como índice de sítio, idade e densidade (Clutter et al., 1983; Davis & Johnson, 1987).

Após pesquisas realizadas em trabalhos publicados, Munro (1974) classificou os modelos de crescimento em modelos de povoamento e de árvores individuais. Posteriormente, outras classificações foram propostas, como a de Davis & Johnson (1987), os quais classificaram os modelos de crescimento e produção em modelos de povoamento, por classes diamétricas e de árvores individuais. No Brasil predomina o uso de modelos de povoamento (Castro et al., 2013), sendo o modelo de Clutter o mais empregado (Campos & Leite, 2013).

O modelo original de Clutter (1963) é utilizado para projetar o crescimento e a produção, sendo amplamente empregado sobretudo em empresas que visam a produção de biomassa. Esse modelo é de povoamento total, de densidade variável, explícito e com características de compatibilidade e consistência (Clutter et al., 1983).

Existem na literatura alguns métodos de ajuste do modelo de Clutter, como o método dos mínimos quadrados em dois ou três estágios e o método da máxima verossimilhança (Dias et al., 2005). Porém, conforme Santana et al. (2005), o melhor e mais indicado método para ajustá-lo é o dos mínimos quadrados em dois estágios, por garantir consistência e baixa tendenciosidade nas estimativas. Mais detalhes a respeito desse método estão apresentados em Gujarati & Porter (2011).

Atualmente, são disponibilizados alguns programas estatísticos que realizam ajustes de modelos pelo método dos mínimos quadrados em dois estágios. Dentre esses, tem-se o Gretl (*Gnu Regression, Econometrics and Time-series Library*), que é um programa livre que compila e interpreta dados econométricos. O programa possui ampla variedade de estimadores, é de código aberto, podendo ser redistribuído e/ou modificado de acordo com os termos da Licença Pública Geral (GPL).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi demonstrar os passos necessários para o ajuste do modelo de Clutter pelo método dos mínimos quadrados em dois estágios, empregando o programa Gretl.

## 2 Material e Métodos

O trabalho foi realizado empregando-se dados de unidades amostrais de inventário florestal contínuo em povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, localizados na região nordeste da Bahia, com

espaçamento médio por árvore de 9 m<sup>2</sup> e idade de 27 a 78 meses. As unidades amostrais são circulares com área de 471,44 m<sup>2</sup> cada, sendo medidos os diâmetros a 1,30 m do solo (d) de todas as árvores e altura total (h) das 15 primeiras árvores da parcela. Quatro medições de cada parcela foram utilizadas neste trabalho.

As estimativas de altura total, volume total por árvore e as classes de sítio foram determinadas a partir das equações apresentadas por Miranda et al. (2015). Para realizar a modelagem do crescimento e da produção, foram usados os dados de volume (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>) e área basal (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>), assim como as estimativas do índice de sítio para cada parcela.

O modelo de crescimento e produção empregado foi desenvolvido por Clutter (1963), o qual representa um sistema de equações simultâneas, sendo uma delas para estimar o volume (Equação 1) e outra para estimar área basal (Equação 2), em idade futura. Esse sistema tem como variáveis endógenas o volume e área basal e, como variáveis exógenas, a idade e o índice de sítio, além dos três termos da equação de área basal.

$$\ln(V_2) = \beta_0 + \beta_1(I_2^{-1}) + \beta_2S + \beta_3\ln(G_2) + \ln(\varepsilon_i) \quad (1)$$

$$\ln(G_2) = \ln(G_1)(I_1I_2^{-1}) + \alpha_0(1 - I_1I_2^{-1}) + \alpha_1(1 - I_1I_2^{-1})S + \ln(\varepsilon_i) \quad (2)$$

Em que:  $V_2$  = volume da  $i$ -ésima parcela, em m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, na idade  $I_2$ ;  $G_1$  e  $G_2$  = área basal da  $i$ -ésima parcela, em m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, na idade  $I_1$  e  $I_2$ , respectivamente;  $I_1$  e  $I_2$  = idade atual e futura, respectivamente;  $S$  = índice de sítio da  $i$ -ésima parcela na  $I_1$ ;  $\beta_i$  e  $\alpha_i$  = coeficientes a serem estimados;  $\ln$  = logaritmo neperiano;  $\varepsilon_i$  = erro aleatório.

Esse sistema foi ajustado com o programa econométrico Gretl (Cottrell & Lucchetti, 2015) versão 2016d, empregando-se o método dos mínimos quadrados em dois estágios. A tela principal do programa está apresentada na Figura 1.

Para o ajuste do modelo de Clutter, os valores foram organizados conforme a Figura 2. É ideal a utilização de abreviações e que não existam espaços entre os nomes.

Para a importação da base de dados, foram realizadas as etapas indicadas na Figura 3. Assim, seguiu-se a sequência: “Arquivo”, “Abrir dados”, “Arquivos do usuário”. Foram indicados o



Figura 1. Tela inicial do programa Gretl – versão 2016d.

Figure 1. Gretl software home screen – version 2016d.

Parc	I1	I2	V1	V2	Hd1	Hd2	G1	G2	S
1	34	46	75,8	115,9	17,1	20,3	11,2	14,2	26,3
1	46	58	115,9	141,2	20,3	22,0	14,2	15,3	25,6
1	58	70	141,2	157,7	22,0	25,9	15,3	16,3	21,4
1	70	82	157,7	166,4	25,9	26,0	16,3	17,1	26,9
2	34	46	47,2	82,3	14,8	18,4	7,9	11,1	22,8
2	46	58	82,3	103,2	18,4	20,4	11,1	12,0	23,2
2	58	70	103,2	115,9	20,4	22,6	12,0	12,8	22,9
2	70	82	115,9	125,7	22,6	23,0	12,8	13,8	23,4
3	34	46	71,5	113,5	16,4	20,0	11,1	14,1	25,2
3	46	58	113,5	128,6	20,0	20,4	14,1	15,1	25,3
3	58	70	128,6	146,3	20,4	23,2	15,1	16,1	22,9
3	70	82	146,3	157,6	23,2	23,9	16,1	17,1	24,1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n	n	n	n	n	n	n	n	n	n

**Figura 2.** Organização dos dados para importação para o programa Gretl, em que Parc: parcela; I1 e I2: idades 1 e 2 (meses), respectivamente; V1 e V2: volume ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) na idade 1 e 2, respectivamente; Hd1 e Hd2: altura dominante (m) na idade 1 e 2, respectivamente; G1 e G2: área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ) na idade 1 e 2, respectivamente; S: índice de sítio (m) da idade 1.

**Figure 2.** Organization of data for import into the Gretl software, where Parc: plot; I1 and I2: ages 1 and 2 (months), respectively; V1 and V2: volume ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) in the age 1 and 2, respectively; Hd1 and Hd2: dominant height (m) in the age 1 and 2, respectively; G1 and G2: basal area ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ) in the age 1 and 2, respectively; S: site index (m) in the age 1.

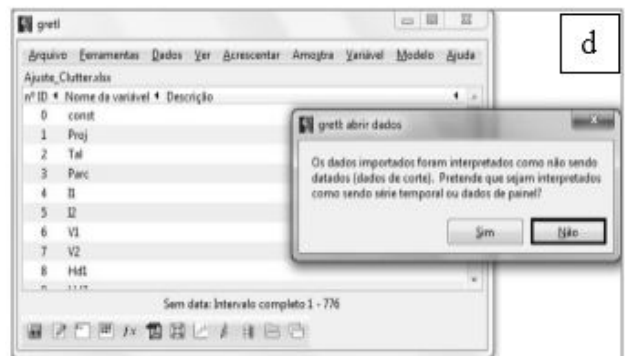
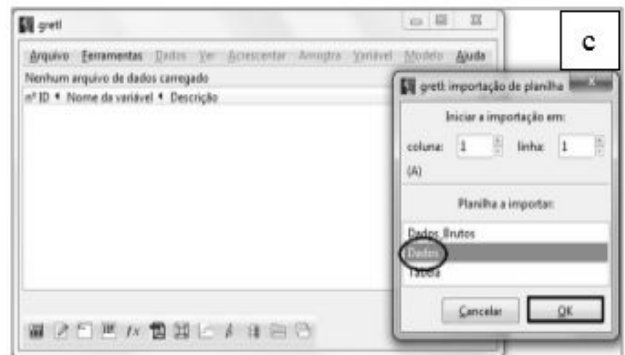
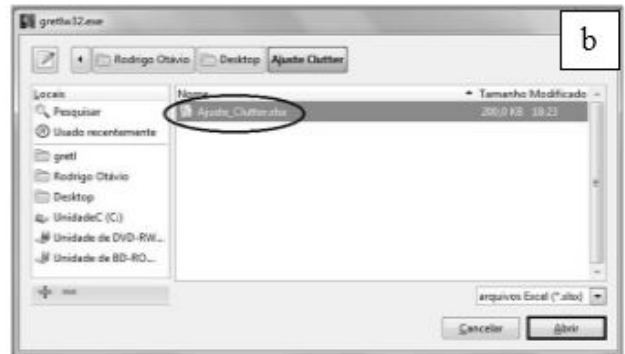
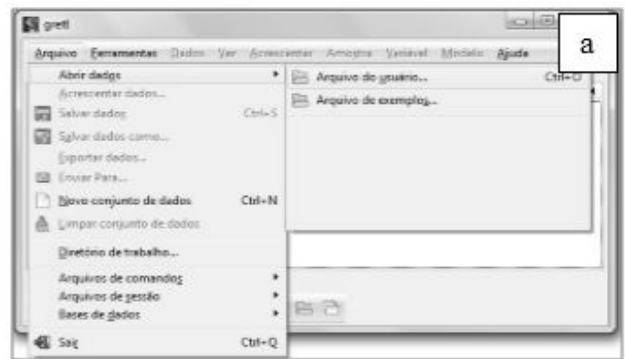
local e o arquivo a ser importado, assim como selecionadas a planilha do arquivo e a coluna e linha, representando o ponto inicial da importação. Ao aparecer a mensagem “pretende que os dados sejam interpretados como série temporal ou dados de painel”, foi selecionado “Não”.

Os dados dispostos em colunas na planilha eletrônica se apresentam em linhas no Gretl. A variável “const” é gerada automaticamente pelo programa. É possível salvar essa base de dados no formato do Gretl (extensão .gdt), proporcionando um acesso mais rápido em uma ocasião futura.

Uma vez importados os dados, tornou-se necessária a criação de outras variáveis, conforme o próprio modelo de Clutter. As variáveis criadas foram: Inv2 (logaritmo neperiano do volume na idade 2), invi2 (inverso da idade 2), lng2 (logaritmo neperiano da área basal na idade 2), R1 (correspondente ao termo  $\ln(G1) \times (I1/I2)$ ), R2 (referente ao termo  $1 - I1/I2$ ) e R3 (o que corresponde ao termo  $(1 - I1/I2) \times S$  ou  $R2 \times S1$ ). Para criar a variável Inv2, selecionou-se o item “Acrescentar” e “Definir nova variável”. Na caixa que se abriu, foi especificada a variável e sua fórmula, como na Figura 4.

O ideal é que o nome da variável a ser criada seja pequeno e de identificação fácil e intuitiva. Além disso, ao inserir alguma fórmula, seja na criação de variáveis ou no ajuste de equações, deve-se digitar o nome da variável exatamente como definido. Outra variável criada foi  $\ln g2\_R1$  ( $\ln(G2) - R1$ ), importante para que o programa não associasse um coeficiente ao termo R1 no momento do ajuste. As outras variáveis foram geradas de forma análoga, cada uma de acordo com sua especificação. Após, as informações se apresentaram conforme a Figura 5. Essas variáveis também podem ser criadas na planilha de origem, antes da importação dos dados.

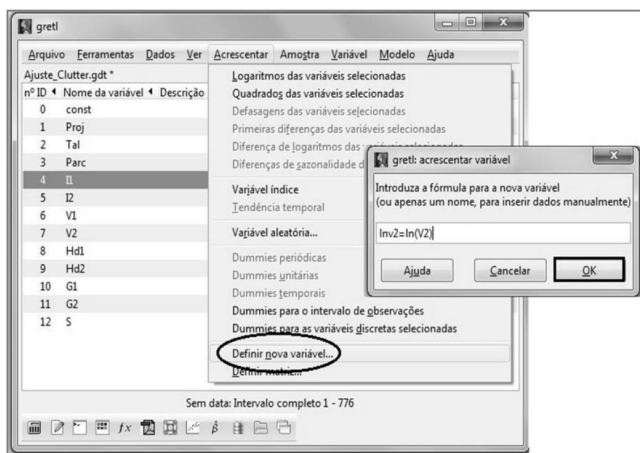
Para o ajuste do modelo de Clutter, foram selecionados os itens “Modelo” e “Equações simultâneas”. Na janela que se abriu, foram inseridas as linhas de comando. De acordo com a Figura 6, foram indicadas as equações do sistema (equation), a variável dependente e as variáveis independentes,



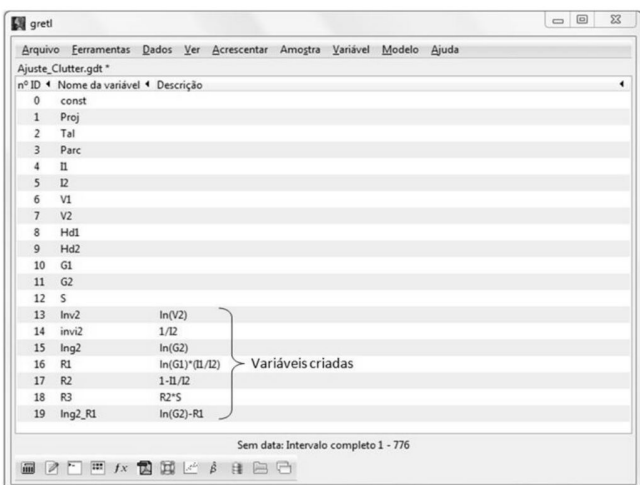
**Figura 3.** Etapas de importação dos dados para o programa Gretl, em que: (a) indicação do local do arquivo; (b) escolha do arquivo; (c) seleção da planilha a ser importada; (d) característica dos dados.

**Figure 3.** Data import steps for Gretl software, where: (a) indication of the location the file; (b) select of the file; (c) selection of the worksheet to import; (d) characteristic of the data.

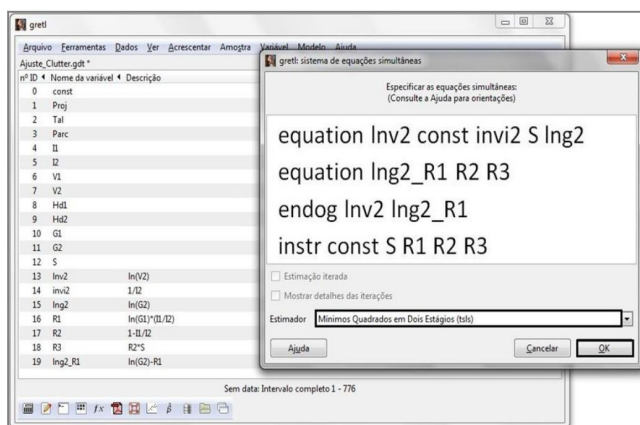
separadas por espaço. Somente a primeira equação possui o termo constante (*const*). O mesmo foi realizado para a segunda equação.



**Figura 4.** Definição de novas variáveis para o ajuste do modelo de Clutter.  
**Figure 4.** Definition of new variables for the adjustment of the Clutter’s model.



**Figura 5.** Disposição das informações necessárias para o ajuste do modelo de Clutter.  
**Figure 5.** Disposition of necessary information for the adjustment of the Clutter’s model.



**Figura 6.** Linhas de comando para o ajuste do modelo de Clutter pelo método dos mínimos quadrados em dois estágios.  
**Figure 6.** Command-lines for the adjustment of the Clutter’s model by two-stage least square method.

No Gretl, é necessário indicar as variáveis endógenas (*endog*) e as instrumentais (*instr*), também separadas por espaço. Em seguida, foi selecionado o estimador “Mínimos Quadrados em Dois Estágios (tsls)” e “OK”.

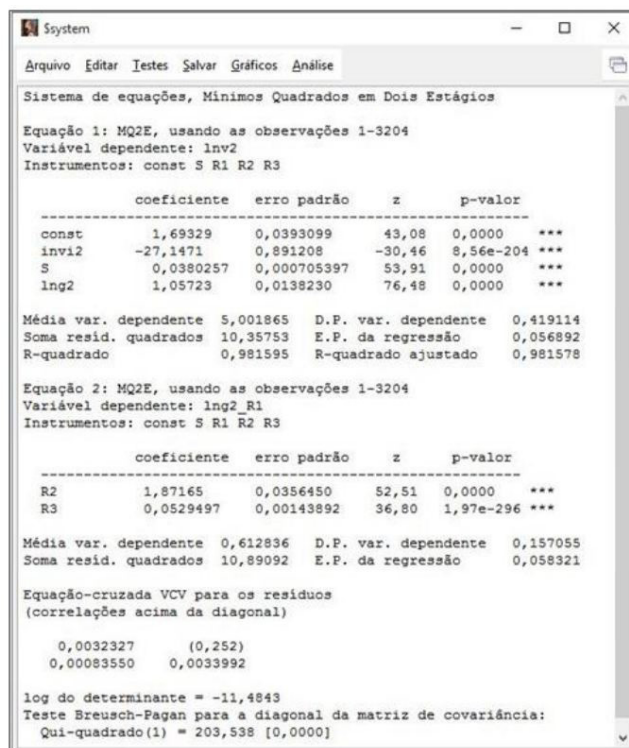
### 3 Resultados e Discussão

Na Figura 7 são apresentadas as informações referentes ao ajuste do modelo. Observa-se que os resultados são exibidos separadamente para cada equação do sistema.

O valor do coeficiente de determinação (R-quadrado) e coeficiente de determinação ajustado (R-quadrado ajustado) para a equação de área basal não foram apresentados. Isso porque, conforme Regazzi (2003), o cálculo dessas estatísticas para equações sem o termo constante é tendencioso, dominando em muito o valor correspondente ao caso com intercepto, em modelos equivalentes. Para visualizar a dispersão de resíduos, basta selecionar “Gráficos” na janela dos resultados do ajuste.

Os resultados estatísticos fornecidos pelo programa são obtidos para as variáveis independentes da forma com que foram inseridas [Ln(volume) e Ln(área basal)]. Portanto, torna-se indispensável o recálculo dessas estatísticas para as variáveis de interesse (volume e área basal).

Para encerrar o programa, após a certificação de que o trabalho esteja salvo (dependendo do interesse), clique em “Arquivo” e após em “Limpar base de dados”; ou simplesmente feche o programa.



**Figura 7.** Resultados do ajuste do modelo de Clutter pelo método dos mínimos quadrados em dois estágios.  
**Figure 7.** Adjustment results of the Clutter’s model by two-stage least square method.

## 4 Conclusões

O programa Gretl representa uma alternativa eficaz no ajuste do modelo de Clutter, sobretudo pela facilidade de manuseio e por não possuir custos.

## Referências

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. *Mensuração florestal: perguntas e respostas*. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2013. 605 p.

CASTRO, R. V. O.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, F. B.; LEITE, H. G. Crescimento e produção de plantios comerciais de eucalipto estimados por duas categorias de modelos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, n. 3, p. 287-295, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000300007>.

CLUTTER, J. L. Compatible growth and yield models for loblolly pine. *Forest Science*, v. 9, n. 3, p. 354-371, 1963.

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

COTTRELL, A.; LUCCHETTI, R. Gretl: gnu regression, econometrics and time-series library. Winston-Salem: Wake Forest University, 2015. Disponível em: <<http://gretl.sourceforge.net/>>. Acesso em: 15 maio 2015.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. *Forest management*. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1987. 790 p.

DIAS, A. N.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F. Emprego de um modelo de crescimento e produção

em povoamentos desbastados de eucalipto. *Revista Árvore*, v. 29, n. 5, p. 731-739, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622005000500008>.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. *Econometria básica*. 5. ed. Porto Alegre: McGraw-Hill Bookman, 2011.

MIRANDA, R. O. V.; DIAS, A. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; SOARES, I. D.; CRUZ, J. P. Modelagem do crescimento e produção em classes de precipitação pluviométrica para *Eucalyptus* sp. *Revista Floresta*, v. 45, n. 1, p. 117-128, 2015. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v45i1.33664>.

MUNRO, D. D. Forest growth models – a prognosis. In: FRIES, J. (Ed.). *Growth models for tree and stand simulation*. Stockholm: Royal College of Forestry, 1974. p. 1- 21.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não linear. *Revista Ceres*, v. 50, p. 9-26, 2003.

SANTANA, C.; MELLO, A. A.; EISFELD, R. L.; SANQUETTA, C. R. Sistema de equações para simulação do crescimento e da produção em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. sem desbaste baseado no modelo de Clutter. *Revista Ambiência*, v. 1, n. 2, p. 239-256, 2005.

SANTOS, E. M. *Crescimento e produção de plantios de Paricá (Schizolobium amazonicum Huber ex. Ducke) sob diferentes espaçamentos*. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.

VANCLAY, J. K. *Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forest*. Wallingford: CAB INTERNATIONAL, 1994. 312 p.

---

**Contribuição dos autores:** Rodrigo Otávio Veiga de Miranda escreveu o trabalho, realizou o processamento e a formatação do mesmo; Afonso Figueiredo Filho revisou o trabalho, adequando-o cientificamente e às normas da língua portuguesa, coordenando a elaboração do mesmo.

**Fonte de financiamento:** Não houve fonte de financiamento.

**Conflito de interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.