

Ajustamento simultâneo de equações de biomassa de azinheira**Joana Amaral Paulo***Instituto Superior de Agronomia, Departamento de Engenharia Florestal***José Tomé***Instituto Superior de Agronomia, Departamento de Engenharia Florestal***Margarida Tomé***Instituto Superior de Agronomia, Departamento de Engenharia Florestal*

Resumo: Após o abate e medição de várias variáveis biométricas de 20 azinheiras (*Quercus ilex* L.) de diversas classes de dimensão, determinaram-se as biomassas das folhas, ramos, lenho de braças, lenho de pernadas, lenho de tronco e casca de cada árvore. Os valores da biomassa de folhas e ramos foram depois agregados numa única componente designada por copa e as restantes consideradas individualmente. Para cada uma das componentes ajustaram-se vários modelos não lineares pelo método dos mínimos quadrados, tomando como variáveis regressoras várias combinações das variáveis biométricas medidas. Para cada uma das componentes seleccionou-se aquele modelo que apresentou a melhor qualidade do ajustamento. Com as equações seleccionadas procedeu-se ao ajustamento simultâneo das equações para as cinco componentes, e da equação para a biomassa total definida como a soma das biomassas daquelas cinco equações. Dada a possibilidade de correlação entre os erros das diferentes equações, recorreu-se ao método dos mínimos quadrados generalizados designado por "nonlinear seemingly unrelated regressions" aplicado iterativamente. Tendo sido detectada heterocedasticidade nos dados de biomassa do lenho de tronco e da biomassa total, os respectivos modelos foram ajustados com ponderação das observações. As equações ajustadas são apresentadas e as suas limitações discutidas.

Palavras-chave: biomassa, azinheira, ajustamento simultâneo de equações

Abstract: After harvesting and measuring 20 Holm-oak (*Quercus ilex* L.) from several class dimensions, the biomass of six tree components was determined for each tree. Two of these components (leaves and branches) were considered together. For each component several non linear models were fitted by the least squares methods, using as regression variables several combinations of the biometric variables measured on each tree. The model with the best quality of fit was selected for each component. The five selected equations were simultaneously fitted with the total biomass of the tree defined as the sum of the biomass of all the five components. Due to the possibility of existing correlation between the residuals of the different equations, we used the non-linear seemingly unrelated regression method, iteratively applied. After detecting heterocedasticity in the data from two components, the two corresponding models were fitted with weighted observations. The adjusted equations are presented and their limitations discussed.

Keywords: Biomass, holm-oak, simultaneous ajustment of equations

1 Introdução

A estimação da biomassa das florestas tem um enorme interesse não só ao nível científico como também prático. O conhecimento das existências de biomassa nos nossos ecossistemas é importante para todo um vasto conjunto de aspectos como a comercialização de produtos, estudo da produtividade do sistema florestal, estudos dos fluxos de energia e de nutrientes, estudo da contribuição dos ecossistemas para o ciclo global do carbono, assim como para a avaliação da quantidade de combustíveis no que diz respeito aos fogos florestais.

Sendo a estimação da biomassa de um povoamento o somatório das estimativas das biomassas das árvores individuais, todos os métodos de estimação da biomassa de povoamentos envolvem, pelo menos de início, a predição da biomassa das árvores individuais constituintes do povoamento.

O procedimento comum neste tipo de trabalho é o recurso à regressão. Após a selecção das árvores a amostrar procede-se ao correspondente abate e à determinação da biomassa das diversas componentes da árvore. Posteriormente, são ajustadas regressões para as componentes consideradas entre aquelas biomassas e variáveis biométricas das árvores.

Usualmente consideram-se, pelo menos, três componentes: o fuste, a casca do fuste e a copa, incluindo esta última ramos e folhas. Podem ser consideradas outras componentes por subdivisão das anteriormente referidas. Foi o que se passou no presente trabalho, onde a componente fuste foi subdividida em tronco, pernadas e braças.

Uma característica desejável dos sistemas de equações de regressão ajustadas para a estimação da biomassa das componentes é que o somatório dos valores preditos pelas diferentes equações seja igual ao valor predito pela equação da biomassa total. Neste contexto entende-se como biomassa total apenas a biomassa da parte aérea da árvore, uma vez que raramente se obtêm dados para a biomassa das raízes.

Procedimentos para assegurar a aditividade num sistema de equações de predição da biomassa são discutidos, nomeadamente, por Kozak (1970) e Cunia e Briges (1985). Parresol (2000) revê e propõe novos procedimentos para a estimação da biomassa das árvores e dos povoamentos com base em regressão linear, os quais asseguram a compatibilidade das equações do sistema. O mesmo autor propõe em 2001 procedimentos semelhantes para o ajustamento de modelos não lineares, assegurando também a compatibilidade do sistema de equações.

Utilizamos aqui, com pequenas alterações, um dos procedimentos propostos por Parresol (2001) para estimar a biomassa de indivíduos de azinheira (*Quercus ilex* L.).

2 Métodos

2.1 Colheita e caracterização dos dados

Foram estimadas, por amostragem destrutiva, as biomassas de 20 azinheiras abatidas na área da futura albufeira da barragem do Alqueva.

Para a selecção das árvores a abater optou-se por instalar aleatoriamente 20 parcelas temporárias de 30 metros de raio, as quais estivessem incluídas numa área de povoamento no mínimo de 0.5 ha, com 10% ou mais de coberto. Nestas parcelas mediram-se os perímetros à altura do peito (pap) de todas as árvores existentes, para que fosse possível agrupá-las segundo as classe de pap seguidas no Inventário Florestal Nacional (DGF, 2001).

Posteriormente, em cada parcela sorteou-se aleatoriamente uma árvore amostra de uma determinada classe, de modo a que, no conjunto das parcelas, se obtivesse aproximadamente o mesmo número de árvores amostra por classe de pap.

Antes do abate de cada árvore foi feita a sua caracterização com a medição das variáveis biométricas apresentadas na Tabela 1. Para além do perímetro à altura do peito (pap) e de diversas alturas usualmente medidas, foram ainda registados o número de pernadas da árvore e o índice de poda, expresso por uma variável qualitativa que assumia o valor 1 caso fosse evidente a árvore ter sido sujeita a uma poda há pouco tempo, ou o valor 0 no caso contrário.

Variável	Descrição	Valor mínimo	Valor médio	Valor máximo
pap	perímetro à altura do peito (cm)	45	142	239
h_t	altura total (m)	4.9	7.8	13.5
h_{bc}	altura da base da copa (m)	1.1	1.9	4.2
h_{bif}	altura da bifurcação (m)	0.82	1.7	3
h_c	profundidade da copa (m)	3.35	5.8	11.4
r	raios da copa (m)	1.42	4.56	6.88
np	número de pernadas	0	2	5
ip	índice de poda	0	-	1

Tabela 1: Variáveis biométricas medidas nas árvores abatidas e seus valores máximos, mínimos e médios

Foram consideradas seis componentes diferentes da árvore: tronco, pernadas, braças, casca, ramos e folhas. As pernadas são definidas como as ramificações de primeira ordem do tronco. Consideraram-se como braças as ramificações de segunda ordem e também todas as porções das ramificações de ordem superior (ramos) com diâmetros superiores a 7,5 cm.

As biomassas do tronco, pernadas, braças e casca foram calculadas a partir dos correspondentes volumes e densidades. No caso de um elemento muito irregular, este foi subdividido em secções de menor comprimento, de forma a

que a sua estrutura fosse mais homogênea no que diz respeito ao diâmetro. Para conseguir calcular os valores de biomassa de casca foram medidos em todos os elementos os diâmetro com e sem casca.

No caso dos ramos contou-se o número de ramos da copa pertencentes a cada uma de três classes de dimensão definidas pelo diâmetro da base do ramo em centímetros:] 0 ; 2.5] ,] 2.5 ; 5.0] e]5.0 ; 7.5]. Amostrou-se uma percentagem pré-determinada em cada classe de dimensão, pesando-se estes ramos no campo e recolhendo-se amostras do lenho (rodela) para determinação em laboratório do teor de humidade. A percentagem de ramos amostrada variou com a dimensão da árvore definida pelo pap, de modo a que os valores estimados para o peso seco dos ramos fossem mais representativos da biomassa média por ramo em cada classe de dimensão e em cada árvore.

Dos ramos amostrados em cada classe de dimensão foram selecionados aleatoriamente dois que foram totalmente desfolhados para determinação do correspondente peso verde de folhas. Foram também retiradas amostras de folhas para posterior determinação do teor de humidade e, assim, determinar a biomassa de folhas desses ramos. O cálculo da biomassa total de folhas na copa foi feito pela multiplicação da biomassa média de folhas dos ramos amostrados pelo número de ramos existentes.

Para mais detalhes sobre as medições realizadas no campo pode-se consultar o protocolo de campo estabelecido (Paulo *et. al.*, 2001).

2.2 Selecção das equações para cada componente da biomassa

Para cada componente ajustaram-se sob a forma não linear, pelo método dos mínimos quadrados, várias equações alométricas que possuíam como variáveis independentes várias combinações das variáveis biométricas medidas na árvore. Para estas equações pressupôs-se a aditividade dos erros e recorreu-se ao algoritmo de Gauss-Newton para o ajustamento, utilizando o procedimento MODEL do SAS 8.01 (SAS Institute, 1993). As técnicas utilizadas por este procedimento para a determinação das estimativas iniciais dos parâmetros, podem ser encontradas em (SAS Institute, 1993).

Para cada componente seleccionou-se, de entre os modelos testados, o modelo com maior valor de eficiência de modelação ajustada (EM), sendo esta avaliada do seguinte modo: $EM = 1 - \frac{\sum(\hat{y}_i - \check{Y})^2}{\sum(y_i - \check{Y})^2}$. Adicionalmente exigiu-se que as estimativas dos seus parâmetros fossem significativamente diferentes de zero e o modelo não apresentasse sintomas de multicolinearidade. Para a primeira condição verificou-se se os intervalos assintóticos de confiança das estimativas dos parâmetros, construídos com um nível de confiança de 0.95, não continham o valor zero. Para a segunda, verificou-se se o número de condição da matriz $W'W$ era inferior a 1000 (Myers, 1986), onde W é a matriz das derivadas parciais do modelo relativamente aos parâmetros, avaliadas para as estimativas obtidas.

2.3 Detecção da heterocedasticidade dos erros das equações da biomassa das componentes e determinação dos pesos das observações

Frequentemente, nas equações de biomassa, a variância do erro está relacionada com uma ou mais das variáveis independentes do modelo. Esta relação, para uma dada componente i da biomassa, apresenta-se sob a forma da equação (1)

$$E(\varepsilon_{i,t}^2) = \sigma_{i,t}^2 = \sigma_i^2 \exp(\mathbf{g}'_{i,t} \boldsymbol{\Theta}_i) \quad (1)$$

onde $\mathbf{g}'_{i,t} = [g_{i,t_1}, g_{i,t_2}, \dots, g_{i,t_p}]$ é o vector linha da $t^{\text{ésima}}$ observação de p variáveis não estocásticas (algumas ou todas as variáveis independentes do modelo, combinações ou funções destas) e $\boldsymbol{\Theta}_i = [\Theta_{i,1}, \Theta_{i,2}, \dots, \Theta_{i,p}]'$ é um vector coluna de parâmetros da equação a estimar.

Para detectar a heterocedasticidade dos erros das equações de biomassa das componentes observaram-se os gráficos dos resíduos de cada uma das equações em função dos correspondentes valores estimados. No caso de se detectar heterocedasticidade procurou-se estabelecer, por análise gráfica, uma relação funcional entre os erros e as diversas variáveis independentes.

Os parâmetros $\boldsymbol{\Theta}_i$ foram estimados, ajustando pelo método dos mínimos quadrados a seguinte regressão para cada um dos modelos em que se manifestou heterocedasticidade dos erros:

$$\ln(e_{i,t})^2 = \ln \sigma_i^2 + \mathbf{g}'_{i,t} \boldsymbol{\Theta}_i + v_{i,t} \quad (2)$$

onde $v_{i,t}$ é o erro do modelo e $e_{i,t}$ é o resíduo da $t^{\text{ésima}}$ observação da biomassa da componente i em questão.

A matriz dos pesos para as observações da componente i foi então obtida da seguinte forma:

$$\Psi_i(\hat{\boldsymbol{\Theta}}) = \begin{bmatrix} \exp(\mathbf{g}'_{i,1} \hat{\boldsymbol{\Theta}}_i) & & & \\ & \exp(\mathbf{g}'_{i,2} \hat{\boldsymbol{\Theta}}_i) & & \\ & & \dots & \\ & & & \exp(\mathbf{g}'_{i,n} \hat{\boldsymbol{\Theta}}_i) \end{bmatrix} \quad (3)$$

onde $\hat{\boldsymbol{\Theta}}_i$ é a estimativa obtida para o vector $\boldsymbol{\Theta}_i$ e onde $\exp(\mathbf{g}'_{i,t} \hat{\boldsymbol{\Theta}}_i)$ é o peso da $t^{\text{ésima}}$ observação ($t = 1, 2, \dots, n$).

Podem ser encontrados mais pormenores em Parresol (2000, 2001) e Johnston e Dinardo (1997).

2.4 Ajustamento simultâneo do sistema de equações

Seguiu-se de perto o procedimento referido por Parresol (2001), que consiste no recurso ao método dos mínimos quadrados generalizados designado por "nonlinear seemingly unrelated regressions" (NSUR). A biomassa de cada componente

é calculada por uma regressão com as suas variáveis independentes próprias e a regressão para a biomassa total como somatório das funções utilizadas para as outras componentes. Cada regressão pode ser ajustada utilizando pesos específicos para cada um dos pontos observados.

As equações estruturais para o sistema podem ser especificadas do seguinte modo:

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_1 &= \mathbf{f}_1(\mathbf{X}_1, \beta_1) + \epsilon_1 \\ \mathbf{y}_2 &= \mathbf{f}_2(\mathbf{X}_2, \beta_2) + \epsilon_2 \\ &\dots \\ \mathbf{y}_M &= \mathbf{f}_M(\mathbf{X}_M, \beta_M) + \epsilon_M \\ \mathbf{y}_{total} &= \sum_{i=1}^M \mathbf{f}_i(\mathbf{X}_i, \beta_i) + \epsilon_{total} \end{aligned} \quad (4)$$

onde \mathbf{y}_i é o vector das biomassas observadas das componentes $i = 1, 2, \dots, M$ e \mathbf{y}_{total} é o vector das biomassas totais, todos de dimensão $n \times 1$, sendo n o número de observações; $\mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_M$ são as matrizes observadas, não estocásticas, das variáveis biométricas utilizadas como variáveis independentes em cada modelo e de dimensões $n \times r_1, n \times r_2, \dots, n \times r_M$, respectivamente, sendo r_1, r_2, \dots, r_M o número de variáveis independentes da equação respectiva; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_M$ são os vectores dos parâmetros com dimensão $(1 \times k_1), (1 \times k_2), \dots, (1 \times k_M)$ para as equações 1 a M , respectivamente; $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_M, \epsilon_{total}$ são os vectores dos erros das diferentes equações de dimensão $n \times 1$ e que se apresentam correlacionados entre si.

Outro modo de especificar as equações será

$$\mathbf{y} = \mathbf{f}(\mathbf{X}, \beta) + \epsilon \quad (5)$$

onde

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{y}_2 \\ \dots \\ \mathbf{y}_M \\ \mathbf{y}_{total} \end{bmatrix}, \mathbf{f} = \begin{bmatrix} \mathbf{f}_1(\mathbf{X}, \beta) \\ \mathbf{f}_2(\mathbf{X}, \beta) \\ \dots \\ \mathbf{f}_M(\mathbf{X}, \beta) \\ \mathbf{f}_{total}(\mathbf{X}, \beta) \end{bmatrix}, \mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_1 \\ \mathbf{X}_2 \\ \dots \\ \mathbf{X}_3 \end{bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \dots \\ \beta_3 \end{bmatrix}, \epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \dots \\ \epsilon_M \\ \epsilon_{total} \end{bmatrix} \quad (6)$$

A matriz \mathbf{X} e o vector β aparecem em todas as funções \mathbf{f}_i ($i = 1, \dots, M$) para expressar a possibilidade de algumas das variáveis e alguns dos parâmetros ocorrerem em mais que uma equação.

Seja Σ uma matriz $(M+1) \times (M+1)$ cujo elemento (i, j) é dado por σ_{ij} (covariância dos erros da equação i com os erros da equação j). Podem ser obtidas estimativas consistentes das variâncias e covariâncias a partir dos resíduos de cada uma das equações das componentes, ajustadas pelo método dos mínimos quadrados não lineares através de

$$\hat{\sigma}_{ij} = \frac{1}{(n - k_i)^{0.5} (n - k_j)^{0.5}} \mathbf{e}_i' \hat{\Delta}_i' \hat{\Delta}_j' \mathbf{e}_j \quad (7)$$

onde $\hat{\Delta}_i$ e $\hat{\Delta}_j$ são as raízes quadradas dos elementos da inversa da matriz dos pesos das observações das componentes i e j , respectivamente, calculadas como atrás se referiu.

A estimativa generalizada NSUR do vector β é o valor que minimiza a soma dos quadrados dos resíduos dada por

$$\mathfrak{R}(\beta) = [\mathbf{y} - \mathbf{f}(\mathbf{X}, \beta)]' \mathbf{\Delta}' \left(\sum^{-1} \otimes \mathbf{I} \right) \mathbf{\Delta} [\mathbf{y} - \mathbf{f}(\mathbf{X}, \beta)] \quad (8)$$

onde \mathbf{I} é uma matriz identidade $n \times n$ e \otimes é o produto de Kronecker e $\mathbf{\Delta}$ é uma matriz que contém a raiz quadrada do inverso dos pesos das observações.

Para obter as estimativas de β recorreu-se ao método da minimização de Gauss-Newton.

A matriz \sum foi depois re-estimada a partir dos resíduos das equações ajustadas. Foram obtidas novas estimativas de β e este processo foi iterativamente aplicado até obter a convergência de todos os parâmetros. A metodologia aqui referida é pormenorizadamente descrita em Parresol (2001), e os critérios do processo interactivo em SAS Institute (1993).

O procedimento atrás descrito foi aplicado recorrendo à opção ITSUR do procedimento MODEL (SAS Institute, 1993).

3 Resultados

3.1 Equações seleccionadas para cada componente

As equações seleccionadas para cada uma das componentes consideradas são as que se apresentam na Tabela 2, onde w_c , w_{br} , w_p , w_t , w_{cc} e w_{total} são os valores, em kg, das biomassas da copa, lenho de braças, lenho de pernadas, lenho de tronco, casca e total. Note-se que os valores da eficiência de modelação referentes a cada uma das expressões dizem ainda respeito ao seu ajustamento individual e não simultâneo.

Componente da árvore	Modelo	EM
Copa (ramos e folhas)	$w_c = pap^{(\beta_{11} + \beta_{12} h_c)}$	0.9763
Lenho de braças	$w_{br} = pap^{(\beta_{21} + \beta_{22} h_c)} h_{bc}^{(\beta_{23} IP)}$	0.7449
Lenho de pernadas	$w_p = pap^{(\beta_{31} + \beta_{32} h_c)}$	0.9375
Lenho de tronco	$w_t = pap^{(\beta_{41} + \beta_{42} h_{bif})} h_t^{(\beta_{43})}$	0.9215
Casca	$w_{cc} = pap^{(\beta_{51} + \beta_{52} h_c)}$	0.7398
Total	$w_{total} = w_c + w_{br} + w_p + w_t + w_{cc}$	

Tabela 2: Equações seleccionadas para cada uma das componentes de biomassa

3.2 Detecção de heterocedasticidade

Da observação dos gráficos dos resíduos em função dos valores estimados para cada uma das equações, detectou-se a necessidade de ponderar as observações relativas às equações da biomassa do lenho do tronco e da biomassa total.

Na figura 1 podemos observar a relação existente entre os resíduos da variável biomassa de lenho do tronco e a altura total da árvore, e na figura 2 a relação entre os resíduos da variável biomassa total e a altura da copa. Foram então ponderadas as observações da biomassa do lenho do tronco recorrendo à altura total da árvore, e da biomassa total da árvore recorrendo à altura da copa, ambas pelo método atrás referido.

Figura 1: Resíduos da biomassa de lenho de tronco (kg) em função da h_t

Figura 2: Resíduos da biomassa total (kg) em função da h_c

3.3 Equações obtidas

Na tabela 3 apresenta-se o sistema de equações obtido com o ajustamento simultâneo pelo método referido. Para além das estimativas obtidas dos parâmetros podem-se também observar as estimativas dos respectivos erros padrão, assim como, os valores da eficiência de modelação referentes a cada uma das expressões após o ajustamento simultâneo de todas as componentes do sistema.

Equação	Expressão matemática	Parâmetros	Erro padrão	EM
Copa	$w_c = pap^{(\beta_{11} + \beta_{12}h_c)}$	$\beta_{11} = 0.679454$ $\beta_{12} = 0.063163$	0.0259 0.00241	0.976
Lenho de braças	$w_{br} = pap^{(\beta_{21} + \beta_{22}h_c)} h_{bc}^{(\beta_{23}IP)}$	$\beta_{21} = 0.835162$ $\beta_{22} = 0.033168$ $\beta_{23} = 0.674645$	0.0608 0.00619 0.1678	0.739
Lenho de pernas	$w_p = pap^{(\beta_{31} + \beta_{32}h_c)}$	$\beta_{31} = 0.625313$ $\beta_{32} = 0.064642$	0.1046 0.0122	0.937
Lenho de tronco	$w_t = pap^{(\beta_{41} + \beta_{42}h_{bif})} h_t^{(\beta_{43})}$	$\beta_{41} = 0.611214$ $\beta_{42} = 0.122828$ $\beta_{43} = 0.543271$	0.2492 0.0446 0.00413	0.849
Casca	$w_{cc} = pap^{(\beta_{51} + \beta_{52}h_c)}$	$\beta_{51} = 0.788072$ $\beta_{52} = 0.032022$	0.0458 0.00501	0.740
Total	$w_{total} = w_c + w_{br} + w_p + w_t + w_{cc}$	-	-	0.938

Tabela 3: Equações ajustadas para cada uma das componentes de biomassa do sistema de equações

4 Conclusões

É possível e aconselhável o desenvolvimento de um sistema de equações de biomassa não independentes, recorrendo ao método dos mínimos quadrados generalizados designado por 'nonlinear seemingly unrelated regressions' aplicado iterativamente e assegurando a compatibilidade das equações. A existência de heterocedasticidade em duas das equações exigiu o ajustamento ponderado das equações do sistema.

Não foi possível integrar no sistema equações separadas para as componentes ramos e folhas, as quais foram consideradas juntamente na componente copa. O método descrito permitiu obter um sistema de 6 equações cujas características são satisfatórias.

É importante salientar que, sendo a inferência da regressão não linear baseada em resultados assintóticos, a reduzida dimensão da amostra (n=20) leva a que os resultados desta análise sejam interpretados com alguma reserva. Esta limitação está a ser ultrapassada pela continuação dos abates em zonas onde estes tenham sido autorizados.

Referências

- [1] Cunia, T. e Briggs, R. D., (1985.). Forcing additivity of biomass tables: use of generalized least squares method. *Can. J. For. Res.*, Vol.15, p. 23-28.
- [2] Direção Geral das Florestas, (2001.) *Inventário Florestal Nacional. Portugal Continental. 3ª revisão. 1995-1998*. DGF.
- [3] Johnston e Dinardo. (1997.). *Econometric Methods*. McGraw-Hill International Editions. Economics Series.
- [4] Kozak, A. (1970.). Methods of ensuring additivity of biomass components by regression analysis. *For. Chron.*, Vol.46, p. 402-404.
- [5] Myers, R. (1986.). *Classical and Modern Regression with Applications*. PWS publishers.
- [6] Parresol, B.R. (1999.). Assessing tree and stand biomass: A review with examples and critical comparisons. *For. Sci.*, Vol. 45/4, p.573-593.
- [7] Parresol, B. R. (2001.). Additivity of nonlinear biomass equations. *Can. J. For. Res.*, Vol.31, p.865-878.
- [8] Paulo, J. A., Tomé, M., Uva, J. S. (2001.). *Recolha de dados de biomassa de Azinheiras (Quercus ilex). Protocolo para a instalação de parcelas temporárias e medição das árvores amostra. Relatórios Técnico-Científicos GIMREF, n.6/2001.*. Instituto Superior de Agronomia.
- [9] SAS Institute Inc. (1993.). *SAS/ETS User's Guide, version 6. 2nd ed.* SAS Institute Inc.