Silva Lusitana ***14****(1): 75 - 84, 2006*
© EFN, Lisboa. Portugal

Curvas de Classes de Qualidade da Estação para Povoamentos de Carvalho-Negral (*Quercus pyrenaica*) Willd.

João P. F. Carvalho
Professor Auxiliar
Departamento Florestal. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro - CEGE.
Quinta de Prados, 5000-911 VILA REAL

Sumário. Neste trabalho estabelecem-se curvas de classe de qualidade da estação para povoamentos de Carvalho-negral (*Quercus pyrenaica* Willd.) a partir de um modelo de crescimento em altura dominante desenvolvido para a espécie. Segue-se o método das equações algebricamente às diferenças com todos os possíveis intervalos de crescimento. São definidas 5 classes de qualidade, a variar entre os 7,0 e 22,0 m de altura à idade de referência de 50 anos, constatando-se a existência de uma ampla variação do índice de qualidade. Fornece-se uma forma para a estimação da idade total das árvores dominantes a partir da idade ao nível do diâmetro, e verifica-se que o número de anos necessários para atingir esse nível é independente da qualidade da estação.
Palavras-chave: *Quercus pyrenaica* Willd.; qualidade das estações; crescimento da altura dominante

Site Index Curves of Pyrenean-Oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) Stands

Abstract. This paper presents site quality curves for Pyrenean-oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) stands, obtained from a stand dominant height growth model. The algebraical difference equation method was used with all possible growth intervals. Five site quality classes were defined, with a site index ranging from 7.0 to 22.0 m height for a reference age of 50 years. A wide range of the site index was revealed for this species. A way for tree age estimation was given from age at breast height, showing that the number of years to achieve this level is independent of site quality.
Key words: *Quercus pyrenaica* Willd.; site quality; dominant height growth

Courbes de Qualité du Site pour des Peuplements de Chêne-Tauzin (*Quercus pyrenaica* Willd.)

Résumé. Ce travail présente des courbes de qualité du site pour des peuplements de Chêne--tauzin (*Quercus pyrenaica* Willd.) à partir d'un modèle de croissance en hauteur dominante. La méthode d'équation algébrique aux différences est utilisée avec tous les intervalles possibles de croissance. On a établi cinq classes de qualité du site, avec un indice de station entre 7.0 et 22.0 m pour un âge de référence de 50 ans. Une large gamme de variations de l'indice de station a été observée. Une équation est fournie pour estimer l'âge de l'arbre à partir de l'âge au niveau du diamètre, on y observe que le nombre d'années pour atteindre ce niveau est indépendant de la qualité du site.
Mots clés: *Quercus pyrenaica* Willd.; indice de station; croissance en hauteur dominant

E-mail: jpfc@utad.pt

Introdução

Dispor de elementos relacionados com o crescimento e produtividade florestal constituem importantes instrumentos de apoio à silvicultura e ordenamento florestal. A modelação do crescimento da altura dominante é importante na elaboração de modelos de crescimento e de produção dos povoamentos florestais. Por outro lado, é habitualmente utilizada na avaliação da qualidade das estações florestais relativamente a uma dada espécie.

Neste trabalho, apresenta-se um modelo de crescimento em altura dominante para povoamentos de Carvalho-negral (*Quercus pyrenaica* Willd.) com vista a estimar o desenvolvimento da altura dominante e a classificação das estações da espécie. Traçam-se as curvas de classes de qualidade e avalia-se o padrão de crescimento em altura nas primeiras idades.

No âmbito florestal, considera-se que a qualidade da estação expressa a potencialidade produtiva lenhosa total. A capacidade produtiva de uma estação ocupada por uma determinada espécie, numa dada revolução, poderia ser determinada directamente contabilizando o volume do povoamento principal e secundário em fases sucessivas da vida do povoamento. Este procedimento é, contudo, demasiado lento e dispendioso, pelo que se recorre a indicadores indirectos, intrínsecos ou extrínsecos, da potencialidade produtiva da estação (HÄGGLUND, 1981; VANCLAY, 1994). Das diversas abordagens dendrométricas utilizadas para determinar a produtividade da estação, usando parâmetros como o acréscimo médio máximo em volume total, a altura do povoamento tem sido a variável mais empregue (HÄGGLUND, 1981; VANCLAY, 1994). Tratando-se de uma variável fácil de medir, o uso da altura do povoamento como indicadora da qualidade da estação baseia-se na lei de Eicchorn, segundo a qual a produção total de um povoamento, dentro de densidades normais, está bem correlacionada com a altura dominante (ASSMANN, 1970).

O uso do índice de qualidade (SI) corresponde, assim, à altura dominante de um povoamento a uma dada idade tomada como referência, sendo um dos mais utilizados indicadores da qualidade das estações florestais. Desta forma, a estimativa da produtividade é específica para um índice de qualidade. É, portanto, possível estabelecer um conjunto de classes, às quais, correspondem uma determinada altura dominante e, deste modo, classificar um povoamento quanto à sua potencialidade produtiva. A estimação de um índice de qualidade envolve, assim, a projecção de alturas actuais para a idade de referência.

No desenvolvimento de instrumentos de decisão de aplicação prática à gestão florestal, e em particular na modelação do crescimento em altura dominante, têm-se essencialmente usado modelos empíricos. A função de Bertalanffy--Richards (RICHARDS, 1959) é, como refere ZEIDE (1993), uma das mais utilizadas nos estudos de crescimento das árvores e povoamentos florestais, nomeadamente devido à sua flexibilidade e universalidade. Desta forma, e com base nos objectivos do presente estudo, é utilizada esta função para a modelação do crescimento da altura dominante:

$$Y = A\left(1 - ce^{-kt}\right)^{\frac{1}{1-m}}, \qquad (1)$$

em que c é um parâmetro de localização, que habitualmente assume o valor 1 por forma a que $Y = 0$ para $t = 0$; m está

relacionado com a forma da curva; *A* é a assímptota e *k* regula a taxa de crescimento para *m* fixo. Sendo uma função de 4 parâmetros, apresenta grande flexibilidade, podendo assumir diversas formas consoante o valor de *m*.

No estabelecimento de curvas de classes de qualidade, têm-se mostrado de grande interesse as equações algebricamente às diferenças uma vez que permitem obter modelos de crescimento em altura dominante e de índice de qualidade compatíveis (GOELZ e BURK, 1992; WANG e PAYANDEH, 1994; HUANG, 1994), procedimento que é usado no presente trabalho para o Carvalho-negral. Podem ser produzidas curvas anamórficas ou polimórficas, de acordo com as características dos dados (CLUTTER *et al.*, 1983; BORDERS *et al.*, 1984). Após seleccionar uma equação de crescimento em altura dominante que melhor se ajuste aos dados, e dependendo dos parâmetros que se mostrem específicos, esta é expressa em termos de equação algebricamente às diferenças.

Um aspecto crucial apontado por GOELZ e BURK (1992) é o de que a modelação da altura dominante, no contexto da qualificação das estações, envolve dois processos: um, a estimação do índice de qualidade à idade de referência, dada a altura a outra qualquer idade; outro, a estimação da altura a uma idade desejada, a partir da altura à idade de referência. Estes dois processos podem ser modelados por equações individuais como fizeram, entre outros, CARMEAN e LENTHALL (1989) e WANG e PAYANDEH (1993). Tal procedimento tende a criar enviesamentos nas estimativas dos parâmetros das curvas, uma vez que a altura dominante é considerada ora como variável dependente, ora como independente. O estabelecimento de uma equação na forma algébrica às diferenças permite simultaneamente optimizar a regressão da variável dependente sobre a independente, e vice-versa.

Assim, estima-se a altura dominante (h_{d2}) a uma idade futura (t_2) com base na altura dominante (h_{d1}) à idade actual (t_1). Por seu turno, a representação das curvas de classe de qualidade é obtida fazendo $h_{d2} = SI$ e t_2 = idade de referência.

Com base nesta metodologia obtém-se a altura correspondente a SI, de forma invariante, isto é, independentemente da idade de referência escolhida, o que constitui uma importante propriedade. Por outro lado, a mesma equação às diferenças pode ser usada tanto na estimação da classe de qualidade como em predições do crescimento da altura dominante.

Metodologia

Recolha dos dados

Foram instaladas e recolhidas informações em 33 parcelas de estudo com uma área de 500 m² em povoamentos puros e regulares de Carvalho-negral ao longo da área de distribuição da espécie em Portugal continental. As parcelas representam uma maior gama possível de situações do ponto de vista estacional (regiões de ocorrência, diferentes geologias, níveis hipsométricos, exposições). Foi utilizada a análise do tronco para a obtenção de informação relativa ao crescimento das árvores dominantes. No presente trabalho, seguiu-se o critério proposto por TENNENT e BURKHART (1981), seleccionando duas árvores dominantes, cujo diâmetro (*d*) se aproxime do diâmetro médio das 100 árvores mais

grossas por hectare e cujas alturas se encontrem num intervalo de 5% da altura dominante média. As árvores foram abatidas e seccionadas em toros de 1 m de comprimento, acima do nível do *d*. De cada árvore, obtiveram-se rodelas de madeira da base de cada toro e do topo, para posterior leitura dos anéis de crescimento em laboratório. Mediu-se, igualmente, o diâmetro e a altura total das árvores. É utilizada para análise informação de 66 árvores.

No Quadro 1 indicam-se a média, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo e máximo para a idade ao nível do *d* (t_d) e altura total (h_d) das árvores usadas na análise do tronco.

Quadro 1 - Idade e altura das árvores usadas na análise do tronco

	Média	***s***	**CV (%)**	**Min**	**Máx**
t_d (anos)	58,8	18,0	31	38	115
h_d (m)	14,4	3,6	25	8,5	27,0

A idade (t_d) das árvores utilizadas situa-se entre os 38 e 115 anos, sendo a média de 58,8 anos. Para a altura total, a média é de 14,4 m, variando entre 8,5 e 27,0 m.

Análise dos dados e resultados

Na análise de regressão supõem-se satisfeitas as condições relativas aos resíduos, quanto à sua independência ($\mathrm{cov}(e_i,e_j) = 0$), distribuição normal ($e_i \sim N(0, \sigma^2)$) e variância homogénea ($V(e_i) = \sigma^2$) (HUET *et al.*, 1992). Em análise de regressão não-linear foi utilizado o método de convergência de Gauss--Newton, para minimização do quadrado dos resíduos. Dispor de valores iniciais adequados é importante para uma convergência adequada, e evitar mínimos locais. Para a obtenção dos valores iniciais, utilizaram-se diversas alternativas, conforme sugerem BATES e WATTS (1988) e HUET *et al.* (1992), entre outros: interpretação gráfica da dispersão dos dados, interpretação gráfica e analítica da derivada da função, transformação linear da função quando possível, redução da dimensão da função substituindo parâmetros por determinados valores, utilização de aproximações provenientes de estudos similares presentes na bibliografia. Em todos os métodos de análise de regressão, foi verificado o significado biológico dos parâmetros estimados, o seu erro padrão, o valor de *t* e a sua significância ao nível de 5%.

A altura utilizada refere-se acima do nível do *d* (h_{dd}), e a idade observada a esse nível (t_d). Tal procedimento encontra-se em conformidade com diversos autores como CARMEAN e LENTHALL (1989), KER e BOWLING (1991) e HUANG (1994), em virtude de nas fases iniciais o crescimento ser afectado de diversas formas por factores não estacionais, tendo um comportamento como que 'errático'. A competição da vegetação espontânea, características superficiais do solo, lotação inicial, técnicas silvícolas de implantação, agressões por animais e geadas, são alguns dos factores que podem influenciar o desenvolvimento inicial em altura, provocando flutuações. Por outro lado, a avaliação da idade das árvores é mais fácil de realizar ao nível do *d*.

No presente trabalho, é utilizada a função de Bertalanffy-Richards para a modelação do crescimento da altura dominante, na forma de equação algebricamente às diferenças, como referido anteriormente. A função de Bertalanffy-Richards é uma das mais

utilizadas na modelação do crescimento em altura dominante para diversas espécies florestais (ZEIDE, 1993; RENNOLLS, 1995), incluindo a *Quercus robur* (TRENCIA, 1992). Relativamente à *Q. pyrenaica*, é a função escolhida por BENGOA *et al.* (1991).

Foi obtida uma equação para cada árvore, o que permitiu proceder à correcção das alturas atingidas pelas árvores ao nível dos seccionamentos feitos usando o método da análise do tronco, uma vez que se considera que, em média, estes ocorreram a meio dos lançamentos anuais. O método de CARMEAN (1972) providencia correcções que originam menores desvios, o qual foi seguido, consistindo em adicionar metade do crescimento corrente em altura verificado quinquenalmente. Seguiu-se, também, a sugestão de NEWBERRY (1991) de alargar o âmbito da correcção ao lançamento terminal, o qual não tinha sido considerado por CARMEAN (1972).

Tendo em vista o estabelecimento de uma equação que permita definir o índice de qualidade das estações, procedeu-se a uma análise de variância dos parâmetros da função eleita face ao índice de qualidade de cada uma das parcelas. A análise é realizada agregando as parcelas em 5 grupos, correspondentes ao número de classes de qualidade a definir. Verificou-se que apenas o parâmetro *A* da equação (1) varia significativamente entre as classes de qualidade. Assim, sendo o parâmetro *A* específico para uma dada qualidade de estação, o desenvolvimento da altura dominante pela equação de Bertalanffy-Richards às diferenças é dado por:

$$h_{dd2} = h_{dd1}\left(\frac{1-e^{-k\cdot td2}}{1-e^{-k\cdot td1}}\right)^{q} \qquad (2)$$

sendo h_{ddi} e t_{di} a altura dominante e idade ao nível do *d*, respectivamente, no momento i = 1 e 2, k e q = (1/1-m) parâmetros a estimar.

GOELZ e BURK (1992) sugerem o estabelecimento de uma equação na forma algébrica às diferenças que considere todos os intervalos de crescimento ('all possible growth intervals'). A base de dados foi, assim, alargada de 432 para 5010 observações.

Por forma a obter a heterocedasticidade dos resíduos, procedeu-se à logaritmização da equação (2), tal como é usado por BAILEY e CLUTTER (1974), AMATEIS e BURKHART (1985), obtendo-se:

$$ln\, h_{dd2} = ln\, h_{dd1} + q\, ln\left(\frac{1-e^{-k\cdot td2}}{1-e^{-k\cdot td1}}\right). \qquad (3)$$

A ocorrência de correlação serial entre os resíduos é frequente em medições repetidas na mesma árvore, como acontece quando se usam dados de análise do tronco. Quando os resíduos não são independentes, o procedimento a adoptar é expandir o termo residual, por forma a considerar a autocorrelação de primeira ordem (MONSERUD, 1984; JOHNSTON, 1991; WANG e PAYANDEH, 1993; HUANG, 1994). Um modelo não-linear usando uma estrutura de dados composta por todos os possíveis intervalos de crescimento, em ambos os sentidos, pode ser representado por:

$$h_{i,j} = f(t_i, h_j, t_j, \beta) + r_{i,j} \qquad (4)$$

em que $h_{i,j}$ se refere à estimativa da altura i à idade j, usando t_i, h_j e t_j com idade $i \neq j$ como variáveis predictoras, $\boldsymbol{\beta}$ é um vector de parâmetros e $r_{i,j}$ é o termo residual expandido para:

$$r_{i,j} = \rho r_{i-1,j} + \gamma\, r_{i,j-1} + \varepsilon_{i,j} \quad . \qquad (5)$$

A equação (5) representa, então, a estrutura de autocorrelação inerente ao ajustamento da equação (3). O parâmetro ρ considera a autocorrelação entre o resíduo corrente e o resíduo de estimar h_{i-1}, usando h_j como predictor. O parâmetro γ considera a autocorrelação entre o resíduo corrente e o resíduo de estimar h_i, usando h_{j-1} como predictor. A consideração da existência de correlação serial entre os resíduos que caracteriza dados provenientes de medições repetidas do mesmo indivíduo, conduz a uma diminuição dos erros padrões dos parâmetros estimados, tornando-os assimptoticamente mais eficientes e a uma diminuição do quadrado médio dos resíduos.

O valor dos parâmetros, respectivos erros padrões, e do r^2 constam no Quadro 2. GOELZ e BURK (1992) propõem uma correcção ao erro padrão dos parâmetros, pelo facto de o número de observações ser artificialmente inflaccionado, através da expressão $\sqrt{Ntpd / Npd}$, sendo Ntpd o número de observações usando todas as possíveis diferenças e Npd usando apenas a primeira diferença.

Assim, a equação que permitirá, de forma compatível, estimar o desenvolvimento da altura dominante e o índice de qualidade, tem a seguinte forma:

$$lnhdd2 = lnhdd1 + 0{,}915ln\left(\frac{1-e^{-0{,}0210\cdot td2}}{1-e^{-0{,}0210\cdot td1}}\right). \quad (6)$$

O factor de correcção a aplicar na conversão anti-logarítmica é $e(\hat{\sigma}^2/2)$ = =0,00083, correspondendo a uma correcção percentual média de 0,5%, o que é desprezível.

Curvas de classes de qualidade

Importa escolher uma idade índice, em que se verifique uma maior estabilização nas variações da altura dominante. CARMEAN (1978) *cit*. HUANG (1994) sugere o uso de idades não inferiores a 20 anos e preferivelmente acima dos 35 anos. HUANG (1994) aponta como idade mínima os 30 anos, e utiliza os 50 anos na modelação do índice de qualidade para povoamentos de *Pinus contorta*. Em outros estudos, como em KING (1966) e TRENCIA (1992), a idade de referência é definida a meio da revolução frequentemente utilizada para a espécie, ou mesmo no seu termo. Em povoamentos de *Q. pyrenaica*, BENGOA *et al.* (1991), na província de La Rioja (Espanha), usam a idade de 25 anos. Neste trabalho é escolhida a idade dos 50 anos, uma vez que é a habitualmente utilizada em diversos estudos, o que facilitará futuras comparações entre espécies.

Quadro 2 - Valor dos parâmetros *k*, *q* e respectivos erros padrões (s_k, s_q), r^2 e QMR

Modelo	***k*** s_k	***q*** s_q	r^2	QMR
h_d	0,210x10^{-1} (0,929 x10^{-4})	0,915 (0,243 x10^{-3})	0,99992	0,166 x10^{-2}

Seguidamente, passa-se ao traçado das curvas de classes de qualidade. Os limites da altura dominante observados à idade de referência (50 anos) são de 8,5 e 20,9 m. Por seu turno, o intervalo de confiança da regressão que limita a uma probabilidade de 95% os valores observados, dado pela expressão,

$$Yx_0 \pm t_{\alpha/2,n-2} \cdot s\sqrt{1+1/n+(x_0-\overline{x})^2/\sum(x_i-\overline{x})^2} \quad (15)$$

é de [9,8; 19,2] m, para a mesma idade de referência.

No presente estudo, vão ser consideradas 5 classes de qualidade com intervalo de 3 m. Este número de classes foi escolhido no sentido de evitar a definição de um grande número de classes, dificultando a sua aplicação prática. Desta forma, os limites e valor central do índice de qualidade (SI) para as 5 classes de qualidade definidas são (Quadro 3):

Quadro 3 – Classes de qualidade de estação para o Carvalho-negral

Classe de Qualidade	Intervalo de SI_{50} (m)	SI_{50} central (m)
I	[19,0; 22,0[	20,5
II	[16,0; 19,0[	17,5
III	[13,0; 16,0[	14,5
IV	[10,0; 13,0[	11,5
V	[7,0; 10,0[	8,5

A Figura 1 mostra o traçado das curvas de classe de qualidade definidas, com a altura dominante total (h_d) e a idade ao nível do *d* (t_d).

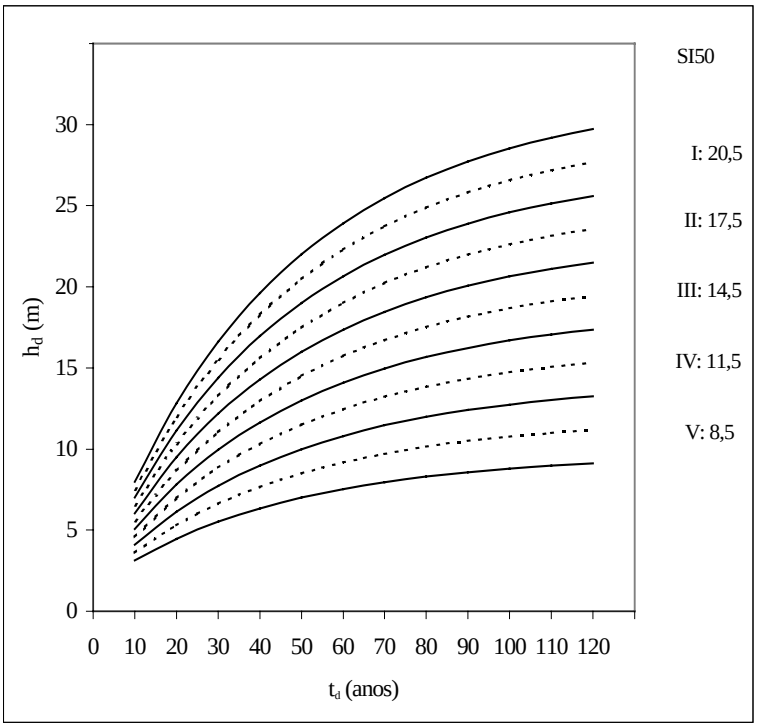

Figura 1 - Curvas de classe de qualidade da estação para o Carvalho-negral.

Estimação da idade total

Não dispondo de informação directa sobre a idade total da árvore, esta pode ser estimada sabendo a idade ao nível do *d*. Com base nos dados da análise do tronco, consideraram-se as variáveis independentes t_d, h_d e *SI*, e suas transformações ($1/x$, x^2, $\sqrt{x}$, $\ln x$), e como variável dependente a idade total, *t*. Por regressão linear passo-a-passo, obteve-se a seguinte equação para estimação da idade total da árvore (*t*),

$$t = 4{,}288 + 0{,}999td \qquad (7)$$

com r^2_{aj} = 0,996, F = 17174*** e s_{yx} = 1,230 anos. O único parâmetro que se mostrou significativo foi o associado a t_d, cujo valor é muito próximo da unidade.

Discussão

No que se refere à modelação do crescimento em altura dominante, o momento do máximo acréscimo corrente em altura dado pela equação de Bertalanffy-Richards ocorre em média aos 3,9 anos, portanto, relativamente cedo. Desenvolvimento similar foi, também, observado por ZEIDE (1993) para diversas espécies florestais. Tal significa que o ponto de inflexão se situa muito cedo na curva de crescimento, constituindo uma porção da mesma que, normalmente, não é representada nas curvas de classes de qualidade, ou terá um desenvolvimento imperceptível. Este padrão de crescimento inicial rápido é, igualmente, posto em evidência pelo número de anos a atingir o nível do diâmetro, que é em média de 4 anos, dos quais 1 para o nível do cepo. Comparativamente com outros estudos realizados por LUIS (1989) com *Pseudotsuga menziesii*, MARQUES (1987) com *Pinus pinaster* e HUANG (1994) para diversas espécies e, considerando tratar-se de uma *Quercinea*, apresenta um desenvolvimento inicial relativamente rápido. Valor semelhante ao aqui obtido, tinha já sido apontado para povoamentos de *Q. pyrenaica* na Serra da Nogueira.

O único parâmetro que se mostrou significativo na estimação da idade total foi o associado à idade ao nível do diâmetro (t_d), cujo valor é muito próximo da unidade, pelo que se pode concluir que o número de anos a atingir o nível do diâmetro é relativamente independente da qualidade da estação e, em termos proporcionais, a idade total varia na razão directa da idade ao nível do diâmetro. Verificou-se, também, que o nível do diâmetro é atingido dentro de um intervalo de variação pequeno (s_{yx} = 1,2 anos), o que se coaduna com o referido por autores como MONSERUD (1984) e WANG e PAYANDEH (1993), em que o crescimento nestas fases é relativamente independente da estação. Tal implica, igualmente, que o crescimento inicial tem uma importância limitada na estimação da qualidade da estação. Factores não-estacionais como a concorrência da vegetação espontânea, densidade inicial, danos causados pela geada e animais, diferenças microlocais, entre outras, têm maior influência que a capacidade potencial da estação avaliada pelo índice de qualidade.

A utilização do método com uso de uma equação algebricamente às diferenças e com estruturação da base de dados, em que se consideram todos os possíveis intervalos de crescimento, mostrou ser adequado na previsão do índice de qualidade e do desenvolvimento da altura dominante. Uma equação deste tipo proporciona dois processos de

estimação diferentes de forma compatível e invariante, os quais são, por um lado, a estimação do índice de qualidade à idade de referência, a partir de uma dada idade e altura e, por outro, a estimação da altura dominante a uma dada idade desejada, fornecendo a altura à idade de referência. Constitui, assim, uma importante melhoria face aos anteriores métodos utilizados no estabelecimento de curvas de classes de qualidade como o de BAILEY e CLUTTER (1974).

O estudo de crescimento da altura dominante realizado para os povoamentos de *Quercus pyrenaica*, com o consequente estabelecimento das classes de qualidade, permitiu verificar a existência de uma ampla gama de variação do índice de qualidade, com um mínimo e máximo de 7,0 e 22,0 m à idade de referência de 50 anos (t_d), respectivamente. Tal tem um particular e interessante significado, tanto ao nível produtivo como silvícola, uma vez que retrata diferentes desenvolvimentos da altura dominante dos povoamentos e, portanto, diferentes capacidades produtivas das estações. Diversas acções silvícolas podem ser aplicadas a povoamentos que expressam produtividades relativamente diferenciadas e, assim, orientar diferentes objectivos de gestão dos povoamentos.

Bibliografia

AMATEIS, R.L., BURKHART, H.E., 1985. Site index curves for loblolly pine plantations on cutover-site prepared lands. *South. J. Appl. For.* **9** : 166-169.

ASSMANN, E., 1970. *The Principles of Forest Yield Study*. Pergamon Press, Oxford [tradução Gardiner, S.M., 1970 do original "Waldertragskunde", 1961], 506 pp.

BAILEY, R.L., CLUTTER, J.L., 1974. Base-Age Invariant Polymorphic Site Curves. *Forest Sci.* **20**(2) : 155-159.

BATES, D.M., WATTS, D.G., 1988. *Nonlinear Regression Analysis and its Applications*. John Wiley & Sons, New York, 365 pp.

BENGOA, J., SAN MIGUEL, A., ALLUE, M., 1991. Estimacion de Biomassa y Determinacion de Calidad en Tallares de Rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.) de La Rioja. In *III Reúnion de la Ass. Esp. Ecologia Terrestre*, León, Set., 15 pp.

BORDERS, B.E., BAILEY, R.L., WARE, K.D., 1984. Slash Pine Site Index From a Polymorphic Model by Joining (Splining) Nonpolynomial Segments With Algebric Difference Method. *Forest Sci.* **30**(2) : 411-423.

CARMEAN, W.H., 1972. Site Index Curves for Upland Oaks in the Central States. *Forest Sci.* **18**(2) : 109-120.

CARMEAN, W.H., LENTHALL, D.J., 1989. Height-growth and site-index curves for jack pine in north central Ontario. *Can. J. For. Res.* **19** : 215-224.

CLUTTER, J.L., FORTSON, J.C., PIENAAR, L.V., BRISTER, G.H., BAILEY, R.L., 1983. *Timber Management: a Quantitative Approach*. John Wiley and Sons, New York, 333 pp.

GOELZ, J.C.G., BURK, T.E., 1992. Development of a well-behaved site index equation: jack pine in north central Ontario. *Can. J. For. Res.* **22** : 776-784.

HÄGGLUND, B., 1981. Evaluation of forest site productivity. *Forestry Abstracts*, **42**(11): 515-527.

HUANG, S., 1994. An age-independent individual tree height prediction model for boreal spruce-aspen stands in Alberta. *Can. J. For. Res.* **24** : 1295-1301.

HUET, S., JOLIVET, E., MESSEAN, A., 1992. *La régression non-linéaire, méthodes et applications en biologie*. INRA Ed., Paris, 236 pp.

JOHNSTON, J., 1991. *Econometric Methods*. McGraw-Hill Book Company, Singapore, 568 pp.

KER, M.F., BOWLING, C., 1991. Polymorphic site index equations for four New Brunswick softwood species. *Can. J. For. Res*. **21** : 728-732.

KING, J.E., 1966. Site Index Curves for Douglas-fir in the Pacific Northwest. *Weyerhaeuser Forestry Pap*. **8**, Weyerhaeuser For. Res. Center, Washington, 49 pp.

LUIS, J.F.S., 1989. *Crescimento e Competição em Povoamentos de Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco em Portugal*. Dissertação de Doutoramento, UTAD, Vila Real, 278 pp.

MARQUES, C.P., 1987. *Qualidade das Estações Florestais. Povoamentos do Pinheiro Bravo no Vale do Tâmega*. Dissertação de Doutoramento, UTAD, Vila Real, 173 pp.

MONSERUD, R.A., 1984. Height growth and site index curves for inland Douglas-fir based on stem analysis and forest habitat type. *Forest Sci*. **30**(4) : 943-965.

NEWBERRY, J.D., 1991. A Note on Carmean's Estimate of Height from Stem Analysis Data. *Forest Sci*. **37**(1) : 368-369.

RENNOLLS, K., 1995. Forest height growth modelling. *Forest Ecol. Manage*. **71** : 217-225.

RICHARDS, F.J., 1959. A Flexible Growth Function for Empirical Use. *J. Exp. Bot*. **10**(29) : 290-300.

TENNENT, R.B., BURKHART, H.E., 1981. Selection of Stem Analysis Trees for Site Index Curve Construction. *Forest Mensuration Report* **56**, Forest Res. Inst., New Zealand, 8 pp.

TRENCIA, J., 1992. Hauteurs Dominantes et Indices des Stations: cas des dispositifs expérimentaux français pour le Chêne rouvre. *R.F.F.* **XLIV**(5): 446-448.

VANCLAY, J.K., 1994. *Modelling Forest Growth and Yield. Applications to Mixed Tropical Forests*. CAB International, Oxon, 312 pp.

WANG, Y., PAYANDEH, B., 1993. A numerical method for the solution of a base-age-specific site index model. *Can. J. For. Res*. **23** : 2487-2489.

ZEIDE, B., 1993. Analysis of Growth Equations. *Forest Sci*. **39**(3) : 594-616.

Entregue para publicação em Novembro de 2003
Aceite para publicação em Agosto de 2004