

Crescimento em Altura Dominante dos Povoamentos de Pinheiro Silvestre em Trás-os-Montes e Alto Douro: Curvas de Qualidade de Estação

Luís Roxo Almeida e Carlos Pacheco Marques e

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, 5001-911 VILA REAL

Resumo. A espécie *Pinus sylvestris* L. (pinheiro silvestre) é autóctone em Portugal, embora, actualmente, só na Serra do Gerês se encontrem alguns exemplares que não resultam de plantação. O pinheiro silvestre foi amplamente utilizado pelos Serviços Florestais nas campanhas de rearborezação do século passado (com recurso a semente estrangeira). A maior parte dos povoamentos instalados encontra-se na região de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Os povoamentos de pinheiro silvestre nesta região não têm sido alvo de estudos específicos sobre os seus crescimento e adaptação, com consequências na silvicultura praticada.

O conhecimento da qualidade da estação permite: a elaboração de estimativas do crescimento e produção dos povoamentos instalados; a determinação do nível da intensidade e tipo de gestão dos povoamentos e da idade mais indicada para a realização do corte final.

A avaliação directa da qualidade da estação é feita através da projecção da altura dominante do povoamento a uma idade de referência. Para esse efeito, foi efectuada a modelação do crescimento em altura dominante, com base em séries de crescimento provenientes de 30 árvores dominantes, previamente submetidas ao método de análise do tronco.

A função de McDill-Amateis revelou-se a mais adequada ao ajustamento pelo método das equações às diferenças.

Foram traçadas as Curvas de Qualidade do Pinheiro Silvestre para Trás-os-Montes e Alto Douro a partir da função ajustada.

Quando comparadas estas curvas com curvas de qualidade de outros países (Espanha, França, Reino Unido, Alemanha, Bulgária e Suécia), verificou-se uma semelhança assinalável com as curvas das tabelas de produção da Galiza (Martinez *et al.*, 2003) e do Reino Unido (Hamilton e Christie, 1971). As condições de influência atlântica e a origem dos povoamentos em plantação explicarão, certamente, parte das semelhanças encontradas. Embora as condições ambientais sejam distintas das portuguesas, podem ocorrer fenómenos de compensação entre factores ambientais que tenham como consequência ritmos de crescimento semelhantes.

Palavras Chave: *Pinus sylvestris*, Índice de Qualidade.

Introdução

A espontaneidade do pinheiro silvestre tem sido colocada em evidência por uma série de estudos paleobotânicos (Teixeira, 1944; Bellot, 1950; Silva, 1979; Pais, 1989; Mateus, 1992) que indicam a presença constante da espécie em Portugal. Tal como na Galiza, as alterações climáticas e a actividade humana (Blanco *et al.*, 1997; Santos *et al.*, 2000; Sobriño *et al.*, 2004) terão sido as principais causas da sua regressão no nosso país. A presença de árvores tidas como espontâneas tem sido apontada na serra do Gerês (Pereira 1952; Silva, 1979; Franco e Afonso, 1982; Ribeiro *et al.*, 1988), pois seriam exemplares muito antigos, sem conhecimento de sementeira ou plantação.

Em Portugal, esta espécie foi amplamente utilizada pelos Serviços Florestais no século passado com recurso a semente estrangeira. A maior parte dos povoamentos encontra-se instalada na região de Trás-os-Montes e Alto Douro.

A deficiente silvicultura praticada nos seus povoamentos, aliada a taxas de crescimento mais elevadas de outras espécies, provocou uma certa lenda de fracasso das plantações desta espécie. No entanto, o pinheiro silvestre foi uma espécie considerada prioritária no âmbito dos programas de reflorestação do 3º Quadro Comunitário de Apoio.

O conhecimento da produtividade das várias espécies nas diferentes regiões e ecossistemas surge como um dos critérios na alocação do uso do território (como base para a escolha de espécies a plantar) e planeamento, e como base para os sistemas de predição do crescimento em florestas geridas.

O índice de qualidade da estação é uma expressão da potencialidade produtiva duma estação florestal que reflecte os atributos indicados, dado que o seu valor depende da acção conjugada das potencialidades genéticas das árvores, dos factores do meio e de certo modo da condução dos povoamentos (Marques, 1987).

Este trabalho compreende a avaliação da qualidade da estação através do estudo de crescimento da altura dominante dos seus povoamentos.

Área de estudo

A região de estudo corresponde aos limites da Região Agrária de Trás-os-Montes e Alto Douro. A divisão da região em duas zonas climáticas: Terra Quente - cotas inferiores a 500m e Terra Fria - cotas superiores a 500m (Franco, 1994) será, talvez, a divisão com mais sentido para as áreas em que a espécie tem ou não presença com algum significado. De referir ainda que, de um ponto de vista climático, à parte ocidental da região com maior influência atlântica, opõe-se a parte oriental de influência mais continental, com uma transição progressiva entre ambas.

A zonagem ecológica e os andares altitudinais (Albuquerque, 1984) já representam, de forma sintetizada, as características termo-pluviométricas das áreas em apreço. De acordo com Almeida (2004), cerca de 60% dos povoamentos de pinheiro silvestre ocupam o andar Montano e 30% o andar Altimontano, ocupando os restantes andares uma presença mais modesta. A importância relativa da presença da espécie é, contudo, maior nos andares altitudinais superiores em que a área arborizada e o número de espécies arbóreas aí presentes é bastante menor. Quanto à zonagem ecológica, verifica-se que a zona ecológica SA (32%) é a zona com maior importância, tendo esta também uma vasta área geográfica em Trás-os-Montes e Alto Douro, com correspondência às encostas da serra do Alvão, Padrela e, em parte, à serra do Barroso e ainda à serra da Nogueira (Oeste). A zona SA.OA (18%) diz respeito às áreas mais elevadas da serra da Padrela e Leomil. A zona I.SA (17%) corresponde à parte Nordeste da região em estudo (Este da serra do Montesinho). A zona ecológica A.SA.OA (12%) corresponde aos níveis superiores das serras do Alvão, Marão, Larouco e Barroso. Estão incluídas na zona ecológica OA (5%) os cumes das serras referidas na zona anterior. A zona A.SA (10%) abrange as vertentes a Oeste das serras de Barroso e Larouco.

Os solos têm origem em xistos e granitos, sendo predominantemente ácidos. De referir, ainda, a presença de solos de origem em rochas básicas na serra da Nogueira. As áreas de pinheiro silvestre ocupam essencialmente as classes de Leptosolos úmbricos e Cambissolos úmbricos crómicos.

Metodologia

A avaliação directa da qualidade da estação foi efectuada através da modelação do crescimento em altura dominante, com base em séries de crescimento provenientes de 30 árvores dominantes

submetidas a análise do tronco. A utilização deste método permitiu suprimir a falta de parcelas permanentes para o pinheiro silvestre na região em estudo.

As 30 árvores dominantes são provenientes de 15 parcelas de estudo distribuídas pela região (Almeida, 2004). A escolha das árvores a abater foi feita respeitando o critério de Tennent e Burkhardt (1981), com a adaptação de Madrigal *et al.* (1992), para que a utilização destas parcelas em futuras medições não fique inviabilizada, e assim possa ter um carácter semi-permanente, o mais vantajoso de todos os tipos de parcelas, ao conjugar as vantagens das parcelas permanentes e temporárias, conseguindo anular algumas das desvantagens de ambas (Gadow *et al.*, 1999). O procedimento após o abate das árvores é semelhante ao adoptado por Marques (1987) e Luís (1989).

Os dados de base para o procedimento de ajustamento de funções de crescimento em altura podem ser observados graficamente na Figura 1. Esta apresenta o desenvolvimento da altura com a idade das árvores dominantes abatidas após a correcção das alturas de seccionamento pelo método de Carmean (1972), com introdução da correcção de Newberry (1991).

As árvores abatidas representam, assim, o leque de alturas dominantes e idades das parcelas amostradas por Almeida (2004) na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, com destaque para os mínimos em altura (9.2m) e idade (36 anos) e os máximos em altura (25.0m) e idade (63 anos).

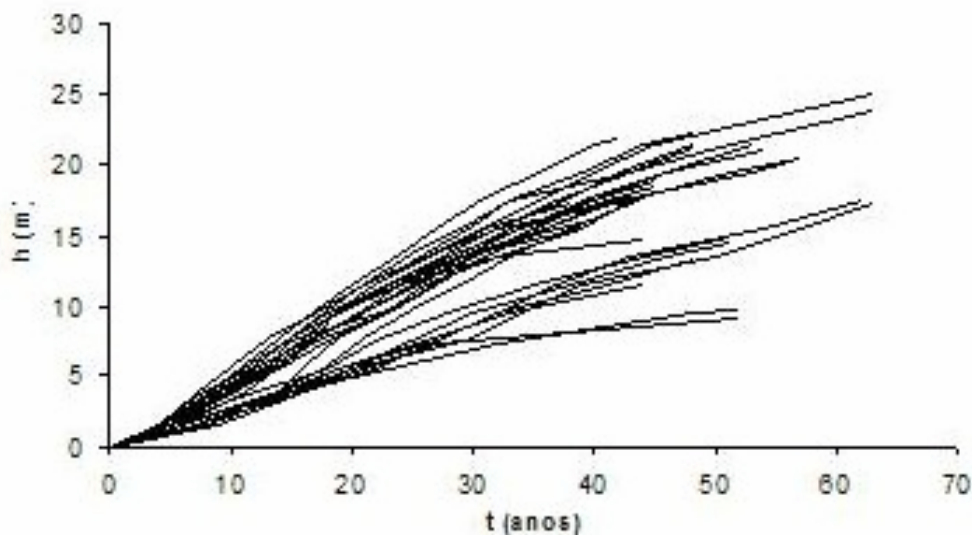


Figura 1 - Desenvolvimento da altura com a idade das árvores dominantes submetidas à análise de tronco

Para que os dados pudessem posteriormente ser utilizados no ajustamento de funções de crescimento em altura pelo método das equações às diferenças, foi necessário estruturar os valores provenientes do método de análise de tronco. A estrutura escolhida foi a de dois sentidos (ascendente e descendente), com sobreposição de intervalos -“estrutura de dados com todos os intervalos possíveis de crescimento”. A escolha desta estrutura é a mais adequada para fazer face à escassez de dados, permitindo desta forma maximizar a utilização dos mesmos. Este tipo de estrutura foi já o escolhido por diversos autores, como Goelz e Burk (1992), Huang *et al.* (1997) e Carvalho (2000).

Como se recorreu ao método das diferenças, as funções foram utilizadas na sua forma de equações às diferenças, deixando um parâmetro livre que é incluído no nome da equação candidata (Quadro 1). As 18 equações candidatas (Tomé, 1988; McDill-Amateis, 1992) têm a propriedade de serem compatíveis ou seja, neste caso, invariantes com o intervalo de projecção considerado. Os parâmetros foram estimados recorrendo ao procedimento de regressão de Mínimos Quadrados Não Linear - Método de Gauss Newton. Este é um método que converge facilmente, mas que necessita de valores iniciais dos parâmetros para a convergência do processo iterativo que lhe está subjacente. Os valores iniciais utilizados foram os obtidos por Fontes (2002) para a pseudotsuga. No entanto, para garantir que a solução encontrada pelo procedimento fosse global, em vez de um mínimo local, foram testados diferentes valores iniciais dos parâmetros para cada uma das equações candidatas, de forma a obter indicação da significância estatística e dos sinais dos parâmetros.

Para a análise da qualidade de ajustamento, as estatísticas utilizadas foram: o coeficiente de determinação (R^2) e/ou o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), como medidas de proporção da variância total explicada pelo modelo; o quadrado médio dos resíduos (QMR) e/ou a raiz quadrada do quadrado médio dos resíduos (RQMR) e a média absoluta dos resíduos (MAR), como medidas de erro do modelo; a média dos resíduos (MR), como medida do enviesamento do modelo; o resíduo máximo (MaxR) e o resíduo mínimo (minR), como medidas dos valores extremos dos resíduos. A selecção final do melhor modelo foi realizada a partir da soma do valor da classificação relativa de cada modelo, com o menor número de ordem para o valor mais desejável em cada uma das estatísticas referidas.

Resultados

O resultado resumido do processo de ajustamento das funções de crescimento em altura dominante é apresentado no Quadro 1. Tendo em conta apenas critérios estatísticos, a posição relativa dos modelos é, também apresentada no Quadro 1.

Apenas a função Richards-K não convergiu no processo de ajustamento, apesar de terem sido testados vários valores iniciais dos parâmetros a estimar.

A função de McDill-Amateis surge como a função com o melhor posicionamento, considerando apenas os indicadores estatísticos.

As cinco funções melhor classificadas, de acordo com os critérios estatísticos, foram seleccionadas para um processo de análise mais pormenorizado, sendo estas: McDill-Amateis, Lundqvist-k, Richards-A, Richards-m e Hossfeld- β_0 . Realizou-se a análise dos resíduos e, embora a normalidade destes não esteja garantida pelo teste de KSL, os gráficos de probabilidade acumulada não revelaram desvios muito acentuados entre os valores observados e a recta. A não normalidade dos resíduos não é, contudo, condição eliminatória das funções não lineares em apreço.

O comportamento biológico das cinco funções seleccionadas foi também analisado. Para a análise em causa foram elaboradas curvas de crescimento para os vários níveis de qualidade da estação observados nas parcelas de estudo.

O estudo das assimptotas reveste-se de muita importância, visto serem os valores limite do crescimento em altura. No entanto, quando a proximidade da assimptota só é atingida a idades muito superiores às idades previstas para a existência dos povoamentos, essa importância diminui. A assimptota da função auxilia na eliminação de funções cujos valores sejam muito inferiores ou muito superiores aos valores observados para a espécie para uma dada região.

Quadro 1 - Estatísticas de ajustamento das funções candidatas

Função e Parâmetros	R ²	R ² aj	RQMR	MR	Maxres	MinR	MAR	Posição
Freese-β1 β0=0.466; β2=1.006	0.962	0.962	2.40	-0.213	7.982	-17.206	1.823	12
Freese-β2 β0=0.294; β1=1.253	0.874	0.874	4.34	1.071	24.601	-31.800	2.271	17
Hossfeld-β0 β1=1.027; β2=0.022	0.988	0.988	1.37	-0.176	4.397	-10.938	0.902	5
Hossfeld-β1 β0=5.016; β2=0.014	0.985	0.985	1.50	0.173	7.860	-7.508	0.92	7
Hossfeld-β2 β0=0.113; β1=2.134	0.894	0.894	3.99	1.451	21.625	-21.542	2.335	15
Korsun-β0 β1=1.839; β2=-0.138	0.986	0.986	1.45	0.084	7.397	-8.364	0.918	6
Korsun-β1 β0=0.187; β2=-0.099	0.965	0.965	2.28	0.276	13.261	-11.522	1.310	11
Korsun-β2 β0=0.229; β1=1.490	0.921	0.921	3.44	0.668	21.443	-18.957	1.834	13
Schumacher-A k=12.653	0.906	0.906	3.75	0.395	14.563	-12.793	2.795	14
Schumacher-k A=29.201	0.969	0.969	2.14	-0.424	4.254	-11.031	1.552	10
Lundqvist-A k=9.861; n=1.463	0.559	0.559	8.14	0.138	23.464	-39.445	6.506	15
Lundqvist-k A=167.034; n=0.346	0.991	0.991	1.17	-0.001	4.578	-8.183	0.789	2
Monomolecular-A k=0.002	0.976	0.976	1.88	0.273	8.385	-8.116	1.243	9
Monomolecular-k A=126.446	0.977	0.977	1.84	0.327	8.523	-6.444	1.220	8
Richards-A K=0.026; m=0.278	0.987	0.987	1.41	0.074	7.537	-7.631	0.876	3
Richards-K A=-	-	-	-	-	-	-	-	18
Richards-m A=39.536; k=0.018	0.988	0.988	1.35	0.010	4.821	-9.384	0.955	3
McDill-Amateis β1=36.818; β2=1.418	0.992	0.992	1.13	-0.006	4.104	-7.825	0.750	1

Tendo em consideração que não existem povoamentos com idades avançadas em Trás-os-Montes e Alto Douro, nem mesmo na Galiza, tomou-se como referência a altura de uma árvore isolada existente na Mata do Buçaco, que embora sujeita a diferentes condições de crescimento pode ser indicativa da altura que esta espécie pode atingir. A árvore foi referida por Santos (1993) e tinha uma altura de 31m aos 111 anos de idade. O intervalo de maiores alturas observadas em exemplares da espécie é de 35-40m, tendo as assíntotas de outras funções de crescimento para Espanha valores de cerca de 32m (Rojo e Montero, 1996).

As funções de Lundqvist-k e Richards-A têm assíntotas (arredondadas à unidade) de 167m e 126m respectivamente, portanto valores claramente elevados. Estas funções prevêem para as melhores qualidades da estação, a uma idade de 120 anos, alturas de 42m e 58m respectivamente, portanto fora dos limites conhecidos para a espécie em causa, o que conduz à exclusão destes dois modelos.

As assíntotas das restantes funções, Freese-β₂, Richards-m e McDill-Amateis estão mais em conformidade com o comportamento da espécie, com assíntotas de 45m, 40m e 37m respectivamente.

Após análise gráfica dos resíduos normalizados em função das alturas previstas, pôde verificar-se que não existe um padrão notório na distribuição dos resíduos em qualquer das

funções, podendo concluir-se pela homocedasticidade dos resíduos, que foi confirmada pelo teste de correlação de Spearman.

Tendo em conta todos os aspectos abordados, a escolha recaiu sobre a função de McDill-Amateis que tinha obtido, desde logo, a melhor posição na avaliação estatística do modelo. A forma final da função de crescimento escolhida foi:

$$h_2 = \frac{36.818}{1 - \left(1 - \frac{36.818}{h_1}\right) \cdot \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^{1.418}} \quad (\text{McDill-Amateis}) \quad R^2 = 0.992; \text{RQMR} = 1.13\text{m}$$

A representação das curvas de qualidade geradas a partir desta função de crescimento está patente na Figura 2. As curvas de qualidade foram elaboradas com intervalos de altura de 2m para altura índice de 30 anos, o que vai permitir uma comparação directa com a tabela de produção da espécie para a Galiza (Martinez *et al.*, 2003).

A forma da equação que permite estimar o Índice de Qualidade (IQ_{30}) é a seguinte:

$$IQ_{30} = \frac{36.818}{1 - \left(1 - \frac{36.818}{h_{dom}}\right) \cdot \left(\frac{t}{30}\right)^{1.418}}$$

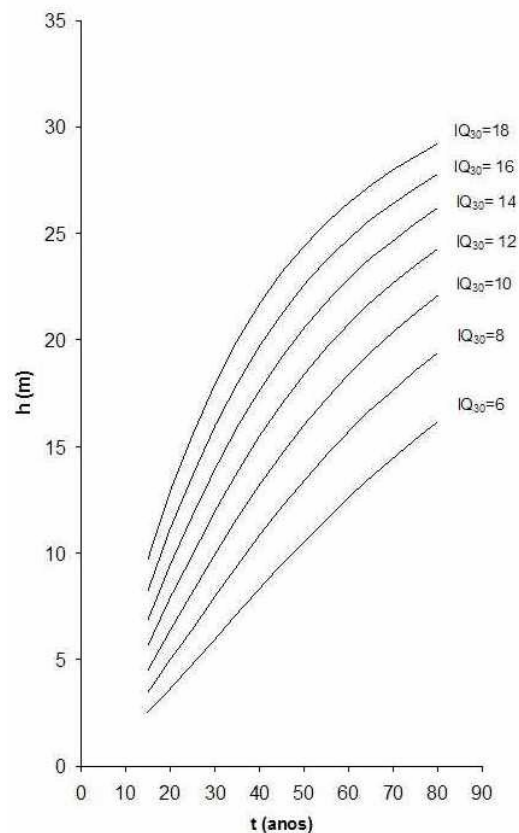


Figura 2 - Curvas de qualidade de pinheiro silvestre de Trás-os-Montes e Alto Douro

Quando confrontadas as curvas de qualidade produzidas no presente trabalho com outras curvas de qualidade da espécie para diferentes países da Europa (Espanha, França, Reino Unido, Alemanha, Bulgária e Suécia), verificou-se que as curvas de qualidade mais semelhantes foram as da Galiza (Martinez, *et al.*, 2003) e do Reino Unido (Hamilton e Christie, 1971) patentes na Figura 3.

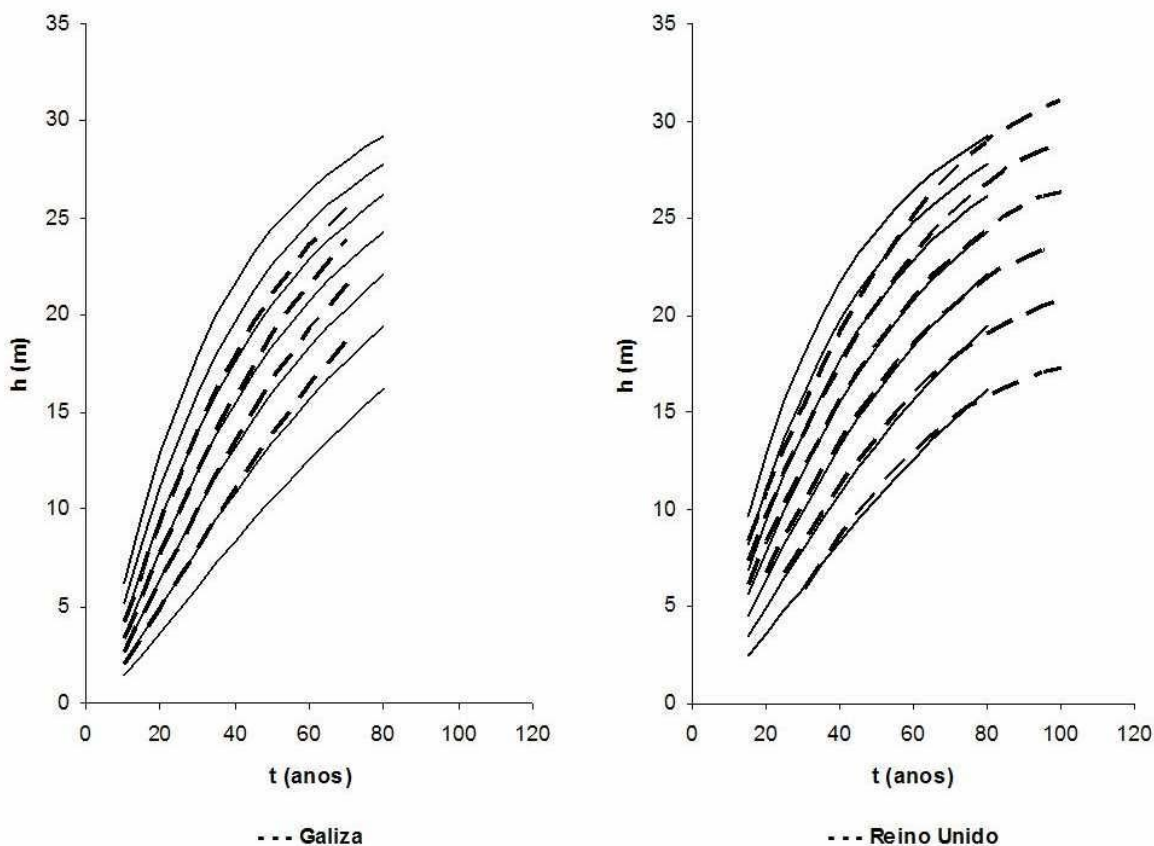


Figura 3 - Curvas de qualidade de pinheiro silvestre da Galiza e Reino Unido (tracejado) e curvas de qualidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (a cheio)

A aderência às curvas de qualidade da Galiza é notável até uma idade próxima dos 40 anos. A partir desta idade podemos observar um maior abrandamento no ritmo de crescimento em altura para o caso português. Esta aderência das curvas de qualidade dos dois lados da fronteira confirma de certa forma o que seria esperado, pois as condições ecológicas dos povoamentos são bastante semelhantes. Contudo, como a proveniência dos povoamentos galegos é espanhola, enquanto a proveniência dos povoamentos portugueses é desconhecida (havendo referências a origem de semente francesa), estas curvas revelam alguma independência relativamente às prováveis diferenças de proveniência.

As curvas de qualidade da Forestry Commission, pela importância das tabelas de produção inglesas, constituem uma referência na silvicultura portuguesa, para várias espécies. Estas curvas têm uma adesão surpreendentemente grande às curvas de qualidade produzidas neste trabalho, havendo apenas algumas diferenças nas classes de qualidade superiores. As condições de influência atlântica e a origem dos povoamentos em plantação (70% dos povoamentos britânicos) explicarão, certamente, parte destas semelhanças. Embora as condições ambientais sejam

distintas das portuguesas podem ocorrer fenómenos de compensação entre factores ambientais que tenham como consequência ritmos de crescimento semelhantes.

Conclusões

Na modelação directa da qualidade da estação através do crescimento em altura dominante, a função de McDill-Amateis foi, das dezoito funções testadas pelo método das diferenças, a função que obteve o melhor posicionamento, considerando apenas os indicadores estatísticos. Estudado o seu comportamento biológico com outras quatro funções seleccionadas da primeira fase, a função de McDill-Amateis revelou um bom comportamento que conduziu à sua escolha. O modelo de crescimento em altura dominante ajustado provém de dados de povoamentos de idades pouco avançadas (idade máxima 63 anos), devendo este modelo ser utilizado com especiais precauções para idades muito superiores às observadas. As curvas de qualidade aqui elaboradas, foram comparadas com várias curvas de qualidade da espécie para diversos países europeus. Desta comparação puderam observar-se diferenças relativas ao crescimento em altura dominante na área de distribuição geográfica da espécie ficando patente a similitude entre estas curvas de qualidade e as curvas de qualidade da Forestry Commission para o Reino Unido e em grande extensão as curvas de qualidade para a Galiza.

Referências bibliográficas

- Albuquerque, J.P.M. (1984) Carta Ecológica (III 4). Atlas do Ambiente, Lisboa.
- Almeida, L.R., 2004. " Caracterização Dendrométrica e Avaliação da Qualidade da Estação em Povoamentos de Pinheiro Silvestre em Trás-os-Montes e Alto Douro". Dissertação de Mestrado, UTAD, Vila Real, 132pp.
- Carmean, W.H. (1972) *Site index curves for upland oaks in the Central States. For. Sci.* **18**: 109–120.
- Fontes, L. (2002) *The performance, constraints and potential of Douglas-fir [Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco] in Portugal*. Phd. Thesis, University of Oxford, 160pp.
- Franco, A. (1994) *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores)*. Vol. III, fasc. II (Gramineae) Escolar Ed., Lisboa.
- Gadow, K.A.; Rojo, J.A.; Gonzalez, G.A.; Soalleiro, R.R. (1999) *Ensayos de crecimiento. Parcelas permanentes, temporales y de intervalo*. Invest. Agr. Sist. Recur. For. Fuera de Serie 1.
- 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.
- Hamilton, G.J.; Christie, J.M. (1971) *Forest management tables (metric)*. Forestry Commission Booklet n° 34, 201pp.
- Huang, S.; Titus, S.; Klappstein, G. (1997) *Subregion-based compatible height-site index-age models for young and mature stands in Alberta: revisions and summaries (Part 1)*. Forest Management Research Note 9, Pub No: T/389, Alberta Environmental Protection 4.
- Luís, J.F.S. (1989) *Crescimento e competição em povoamentos de Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco em Portugal*. Tese de Doutoramento, UTAD, Vila Real, 278pp.

- Madrigal, A.; Puertas, F.E.; Martínez, F.J. (1992) *Tablas de producción para "Fagus sylvatica L." en Navarra*. Serie Agraria nº 3, Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes, Gobierno de Navarra, Pamplona, 141pp.
- Marques, C.P. (1987) *Qualidade das estações florestais: Povoamentos de pinheiro bravo no Vale do Tâmega*. Tese de Doutoramento, UTAD, Vila Real, 157pp.
- Martínez, C.E.; Diéguez, U.A.; Rojo, A.A.; Rodríguez, S.R. (2003) *Silvicultural alternatives for Pinus sylvestris L. man-made stands in the north-west of the Iberian Peninsula*. IUFRO Meeting, WP 1.05.14, Silviculture and Sustainable Management in Mountain Forests in the Western Pyrenees, 15-19 September, Navarra, Spain.
- McDill, M.E.; Amateis, R.L. (1992) Measuring forest site quality using the parameters of a dimensionally compatible height growth function. *For. Sci.* **38**: 409-429.
- Rojo, A.; Montero, G. (1996) *El pino silvestre en la Sierra de Guadarrama*. Centro de Publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 293pp.
- Santos, A.M. (1993) *Caracterização da Mata Nacional do Buçaco*. Anadia.
- Tennent, R. B.; Burkhart, H. E. (1981) *Selection of stem analysis trees for site index curve construction*. New Zealand Forest Service, Forest mensuration, Report 56.
- Tomé, M. (1988) *Modelação do Crescimento da Árvore Individual em Povoamentos de Eucalyptus globulus Labill. (1ª Rotação) Região Centro de Portugal*. Tese de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 256pp.