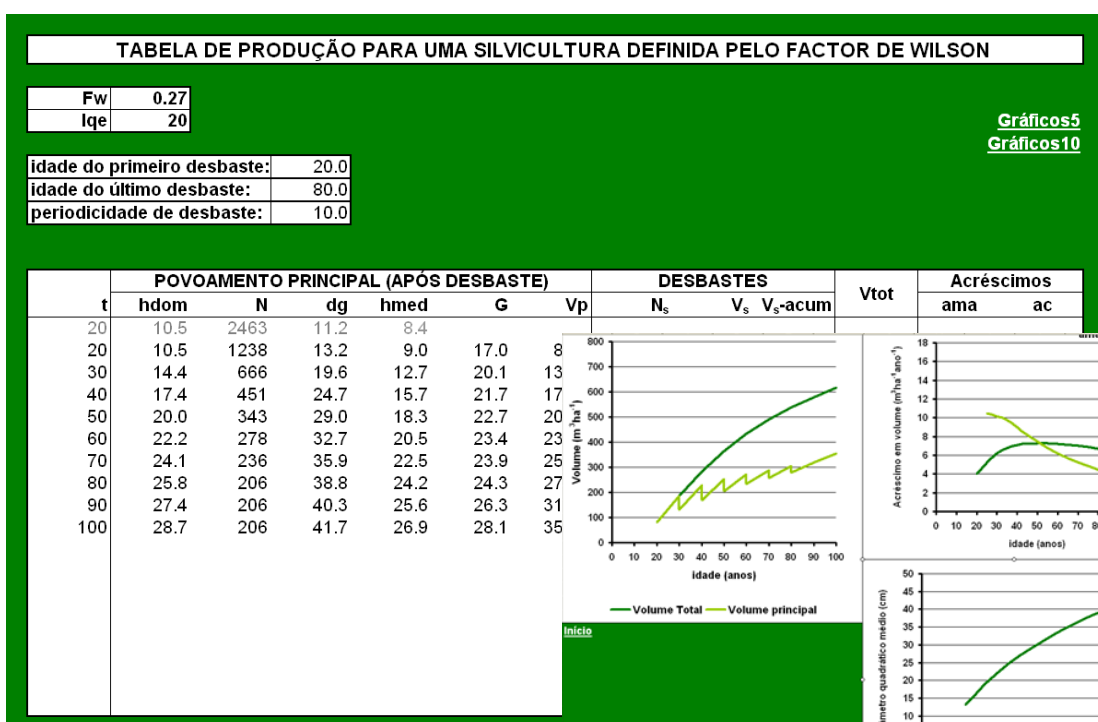


Tabela de produção geral para o pinheiro bravo em Portugal

Margarida Tomé



GIMREF

Grupo de Inventariação e Modelação de Recursos Florestais

Publicações técnico científicas do GIMREF nº 7/2001

Índice

1	INTRODUÇÃO	1
2	MÉTODOS	1
2.1	Curvas de classe de qualidade	2
2.2	Modelação da linha de mortalidade natural	2
2.3	Relação volume total – altura dominante	3
2.4	Relação hipsométrica geral	4
2.5	5. Equação de predição para o diâmetro quadrático médio	5
2.6	Implementação da “TABELA DE PRODUÇÃO GERAL PARA O PINHEIRO BRAVO” em EXCEL	5
3	RESULTADOS	6
3.1	1. Curvas de classe de qualidade	6
3.2	Modelação da linha de mortalidade natural	7
3.3	Relação volume total – altura dominante	9
3.4	Relação hipsométrica geral	12
3.5	Equação de predição para o diâmetro quadrático médio	12
3.6	Implementação da “TABELA DE PRODUÇÃO GERAL PARA O PINHEIRO BRAVO” em EXCEL	12
3.7	Referências bibliográficas	14

TABELA DE PRODUÇÃO GERAL PARA O PINHEIRO BRAVO

1 INTRODUÇÃO

A “Tabela de Produção para o Pinheiro Bravo das regiões montanas e sub-montanas” (Oliveira, 1985) foi desenvolvida com dados de parcelas temporárias localizadas numa zona bastante restrita da área de distribuição do pinheiro bravo em Portugal. A utilização de parcelas temporárias leva, por si só, a tabelas de produção que podem ser enviesadas, nomeadamente se não houver uma boa representação de parcelas representativas dos diferentes índices de qualidade da estação em todas as classes de idades. Por outro lado, a sua utilização noutras zonas do país pode resultar, também, em avaliações bastante enviesadas.

Decidiu-se assim utilizar os dados recolhidos e/ou organizados no âmbito do projecto PAMAF 8165 para obter uma versão melhorada da “Tabela de Produção para o Pinheiro Bravo das regiões montanas e sub-montanas” (Oliveira, 1985).

2 MÉTODOS

A nova tabela baseia-se nas mesmas metodologias que a tabela de Oliveira (1985), ou seja na metodologia de Franz (1969), com excepção da modelação do volume total que é, na nova versão, baseada em dados reais de volume total, provenientes de ensaios, em oposição à primeira versão da tabela na qual o volume total foi estimado com base em dados de parcelas temporárias, utilizando o método de Magin (Oliveira, 1985).

Para além dos dados disponíveis no projecto utilizaram-se também dados de volume total publicadas por Luís et al. (1992) e Luís e Guerra (1999) e obtidos pelos autores num ensaio de debastes instalados no perímetro de Pensalves, concelho de Vila Pouca de Aguiar. Consideraram-se ainda dados de alguns ensaios instalados e/ou monitorizados no âmbito do projecto PRAXIS 2120 – ensaios de Alcacer, Lousã, Castanheira de Pêra.

No desenvolvimento das diversas equações testou-se, quando pertinente, a necessidade de reparameterizar a equação para duas regiões: dunas do litoral e regiões montanas e sub-montanas. Para tal definiu-se uma variável indicatriz, a variável *Dunas*:

$$Dunas = \begin{cases} 0, & \text{ensaios de Alcacer e Leiria} \\ 1, & \text{outros ensaios} \end{cases}$$

O desenvolvimento da tabela de produção inclui o ajustamento dos seguintes modelos:

1. Curvas de classe de qualidade
2. Linha de mortalidade natural
3. Relação volume total/ altura dominante
4. Relação hipsométrica geral
5. Equação de predição para o diâmetro médio quadrático

No final procedeu-se à implementação da “tabela de produção geral para o Pinheiro bravo” em EXCEL.

2.1 Curvas de classe de qualidade

O ajustamento das curvas de classe de qualidade baseou-se numa das formulações da função de crescimento de Lundqvist como uma equação às diferenças, a qual já havia sido seleccionada por Falcão (1997) para a Mata Nacional de Leiria:

$$\text{hdom}_2 = A \left(\frac{\text{hdom}_1}{A} \right)^{\left(\frac{t_1}{t_2} \right)^n} \Leftrightarrow \text{hdom} = A \left(\frac{\text{lqe}}{A} \right)^{\left(\frac{t_p}{t_2} \right)^n}$$

onde hdom_i é a altura dominante à idade t_i , lqe é o índice de qualidade da estação, t_p é a idade padrão, A é a assíptota e n é um parâmetro de forma.

Testou-se a significância dos parâmetros A (assíptota) e n (parâmetro de forma) serem diferentes para as dunas do litoral e outras regiões com base na variável indicatriz Dunas.

2.2 Modelação da linha de mortalidade natural

A modelação da linha de mortalidade natural foi baseada nos dados provenientes dos diversos ensaios de desbaste disponíveis, assim como das parcelas antes do 1º desbaste. Nesta fase não foram utilizados os dados do ensaio de Alcacer, por nos parecer que se encontravam numa

situação de sub-lotação e, portanto, longe da linha de mortalidade natural. Para o ajustamento da relação limite os dados foram classificados em classes de $\log(dg)$ de amplitude 0.1 e seleccionaram-se os 3 pontos de cada classe com um maior número de árvores.

Analizou-se então o gráfico da relação $\log(N) - \log(dg)$ relativo a todos os povoamentos, com o objectivo de detectar quais os povoamentos que se encontrariam numa situação de sub-lotação, em particular o ensaio de Alcácer.

Ajustaram-se as funções correspondentes à linha da mortalidade natural quer em função da dimensão da árvore média (dg), quer em função da altura dominante, ambas sob forma logarítmica.

2.3 Relação volume total – altura dominante

O trabalho descrito neste ponto teve como objectivo fundamental o desenvolvimento de um modelo para a relação volume total - altura dominante - base da metodologia utilizada para a construção da tabela de produção - com base em ensaios de desbastes localizados em diversos locais do país.

O método de MAGIN, o qual foi utilizado na versão anterior da tabela de produção, baseia-se em dados de parcelas temporárias, complementados com informação sobre a relação entre a dimensão (volume) da árvore média saída em desbaste e da árvore média do povoamento principal (factor KM de Magin). A disponibilidade de dados sobre a evolução do volume total nos diversos ensaios que se reuniram neste projecto permitiu a modelação da relação volume total - altura dominante baseada em dados reais.

Seleccionaram-se 3 expressões matemáticas que correspondem à forma exponencial apropriada para a relação volume total-altura dominante e seleccionou-se aquela que, mostrando um bom ajustamento aos dados, exhibisse também um comportamento adequado do ponto de vista biológico. Note-se que nos dados disponíveis incluem apenas valores de altura dominante até 21.7 m, pelo que os valores de volume total para alturas dominantes superiores a este valor serão estimados por extrapolação. Este facto implica a extrema importância de continuar com a monitorização dos ensaios que se reuniram no âmbito deste projecto para um posterior aperfeiçoamento dos sub-modelos agora ajustados. As expressões matemáticas testadas para a modelação da relação volume total – altura dominante foram:

$$\text{Modelo 1: } \ln(V) = a + b \frac{1}{\text{hdom}} \quad \Leftrightarrow \quad V = k e^{b \frac{1}{\text{hdom}}}$$

$$\text{Modelo 2: } \ln(V) = a + b \text{ hdom} \quad \Leftrightarrow \quad V = k e^{b \text{ hdom}}$$

$$\text{Modelo 3: } \ln(V) = a + b \ln(\text{hdom}) \quad \Leftrightarrow \quad V = k \text{ hdom}^b$$

Qualquer dos três modelos candidatos foi ajustado sob a forma linearizada e os parâmetros a e b foram expressos como uma função linear do índice de qualidade da estação (Iqe). A variável indicatriz Dunas, assim como a sua interacção com a variável transformada correspondente à altura dominante foram também consideradas. O melhor modelo para cada uma das formulações matemáticas testadas foi seleccionado com recurso à regressão passo a passo. No modelo final seleccionado garantiu-se que todas as variáveis são significativas assim como a inexistência de colinearidade.

2.4 Relação hipsométrica geral

Uma vez que, na maior parte das medições realizadas nos ensaios, a altura das árvores foi medida apenas em árvores modelo, considerou-se que os dados provenientes dos ensaios poderia ser substituída, com vantagem, pelos dados provenientes do Inventário Florestal Nacional. A Direcção Geral das Florestas disponibilizou os dados do IFN de 1992, os quais foram portanto seleccionados para o ajustamento deste sub-modelo. De facto, sendo a relação hipsométrica um modelo de predição, e não de crescimento, não há qualquer problema em recorrer a dados de parcelas temporárias. A desvantagem de utilizar os dados do Inventário Florestal de 1992 residiu no facto destes dados – no momento - não estarem geo-referenciados o que impossibilitou o teste da necessidade de reajustar a relação hipsométrica para as duas regiões consideradas. Num futuro próximo será relativamente fácil resolver este

problema, sendo trivial a substituição deste modelo no ficheiro EXCEL em que a tabela de produção foi implementada.

Note-se que, em consequência da metodologia em que se baseia a construção da tabela de produção, as únicas variáveis regressoras que podem ser utilizadas na relação hipsométrica, para além do dap, são a altura dominante e a idade. O diâmetro quadrático médio das dominantes, variável que se tem mostrado com uma boa prestação para este fim, não está disponível na tabela de produção pelo que não pode ser utilizada.

2.5 5. Equação de predição para o diâmetro quadrático médio

Este sub-modelo foi desenvolvido com base no algoritmo da regressão passo a passo, no qual foram consideradas as seguintes variáveis regressoras: distância média entre árvores ($1/\sqrt{d_g}$), altura dominante (h_{dom}), factor de wilson (F_w), idade (t), a variável indicatriz Dunas e algumas transformações da variável densidade do povoamento N (raiz quadrada, quadrado, etc). Tal como nos casos anteriores, no modelo final seleccionado garantiu-se que todas as variáveis são significativas assim como a inexistência de colinearidade.

2.6 Implementação da “TABELA DE PRODUÇÃO GERAL PARA O PINHEIRO BRAVO” em EXCEL

Para uma mais fácil utilização da tabela de produção, as diversas equações que a compõem foram implementadas num ficheiro EXCEL. Neste ficheiro, a gestão – definição do regime de desbastes – pode ser feita por dois processos, à escolha do utilizador:

Fixação do factor de Wilson - neste caso o utilizador deve fixar a idade do 1º e último desbaste e o factor de Wilson que pretende)

Definição de uma área basal - neste caso o utilizador deve encontrar as densidades do povoamento para as áreas basais pretendidas com base na função GOAL SEEK

3 RESULTADOS

3.1 1. Curvas de classe de qualidade

A figura 1 mostra os dados que foram utilizados no ajustamento das curvas de classe de qualidade.

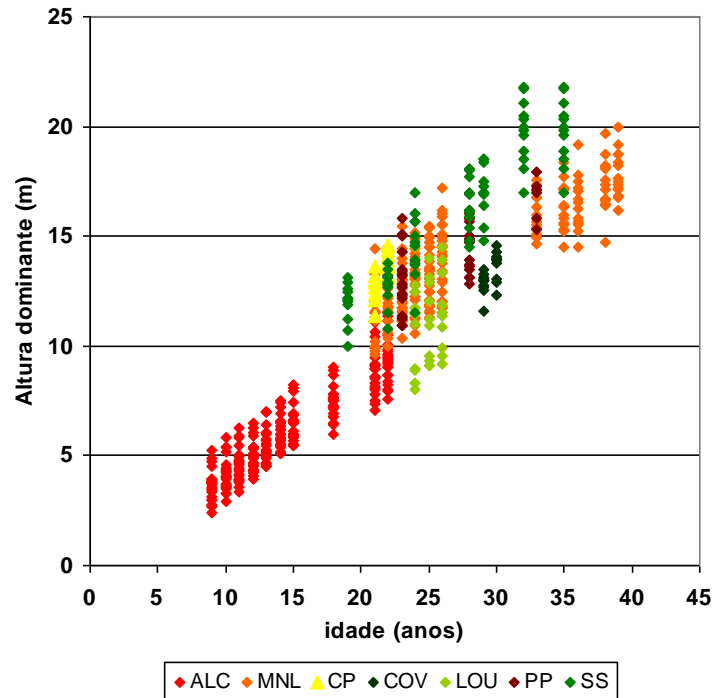


Figura 1. Dados utilizados no ajustamento das curvas de classe de qualidade

O modelo de Lundqvist seleccionado para o ajustamento destas curvas obteve um excelente ajustamento ($R^2=0.9835$), não tendo a variável Dunas sido significativa em qualquer dos parâmetros. A função obtida foi:

$$h_{dom_2} = 69 \left(\frac{h_{dom_1}}{69} \right)^{\left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{0.458203}} \quad \Leftrightarrow \quad h_{dom} = 69 \left(\frac{l_{qe}}{69} \right)^{\left(\frac{t_p}{t_2} \right)^{0.458203}}$$

A figura 2 mostra a comparação entre as curvas de classe de qualidade propostas e algumas das curvas disponíveis com maior utilização.

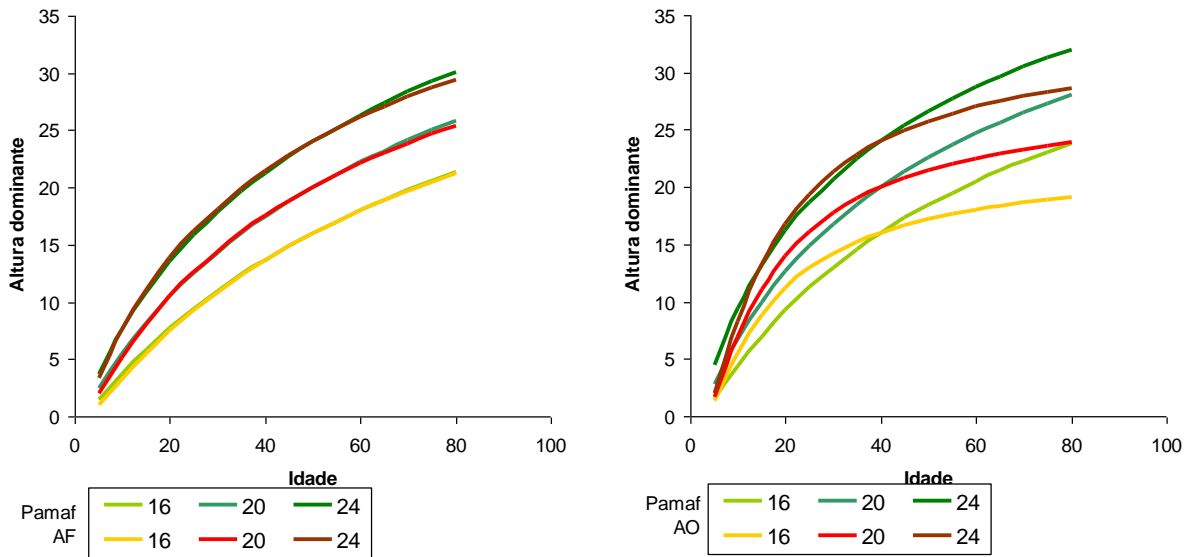


Figura 2. Comparação entre as curvas de classe de qualidade de Oliveira (1985), Falcão (1997) e as ajustadas no âmbito deste projecto

3.2 Modelação da linha de mortalidade natural

A figura 3 mostra a relação $\log(N) - \log(dg)$ para todos os dados disponíveis. Como se pode ver, os dados relativos ao ensaio de Alcácer correspondem a situações nítidas de sublotação, facto que levou à sua exclusão da modelação da relação volume total – altura dominante.

A figura 4 mostra os dados que foram utilizados na modelação da linha de mortalidade natural os quais, como explicado na secção de métodos, correspondem aos 3 pontos com maior densidade em cada classe de $\log(dg)$ com amplitude 0.10. No total utilizaram-se 37 pontos.

Ajustaram-se as seguintes equações, com base em regressão linear:

$$\log(N) = 13.19981 - 1.95603 \ln(dg) \quad R^2 = 0.9718 \quad R^2_{\text{ajust}} = 0.9443$$

$$\log(N) = 12.68329 - 1.85632 \ln(hdom) \quad R^2 = 0.7038 \quad R^2_{\text{ajust}} = 0.4954$$

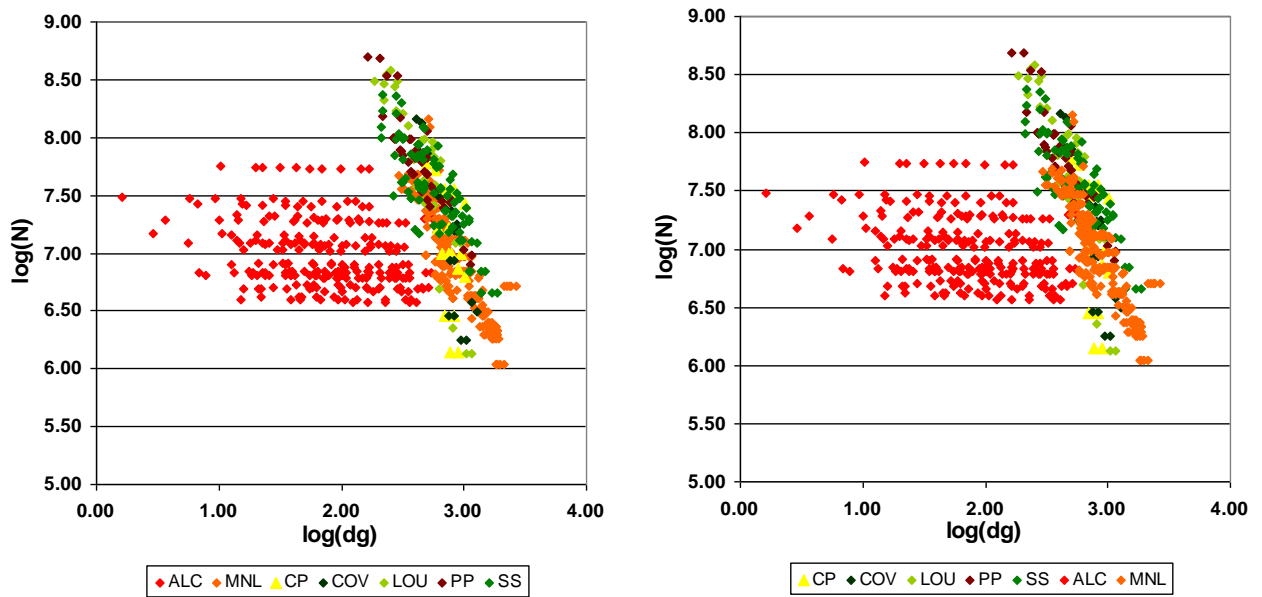


Figura 3. Relação $\log(N)$ - $\log(dg)$ para os dados disponíveis. Os dois gráficos correspondem a uma ordem diferente das séries correspondentes aos vários ensaios, para melhor visualização

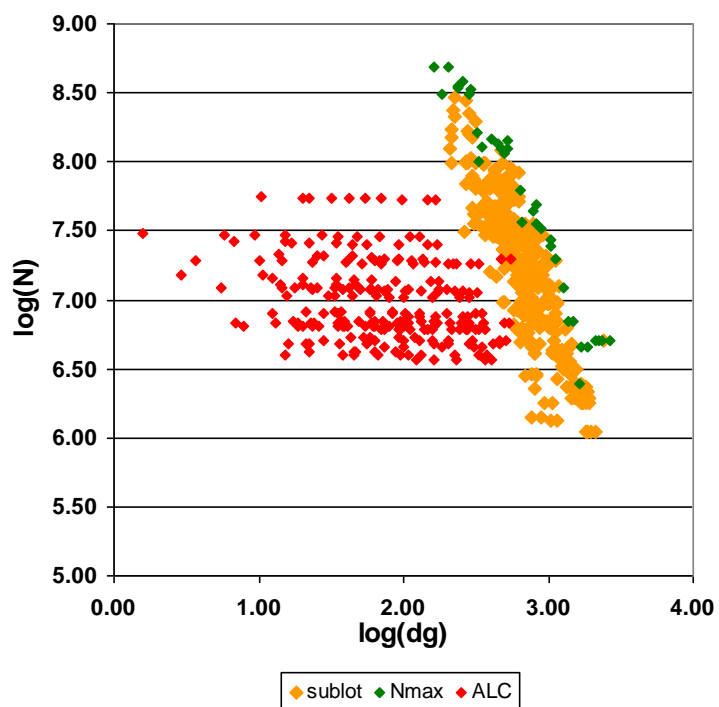


Figura 4. Pontos utilizados na modelação da linha de mortalidade natural

3.3 Relação volume total – altura dominante

A figura 5 ilustra gráficamente esta relação, vem como a posição dos diversos ensaios. A relação é nítida, embora se verifique alguma variação. A sub-lotação dos povoamentos do ensaio de Alcácer é mais uma vez visível. Deste modo, não se utilizaram estes dados para a modelação desta relação.

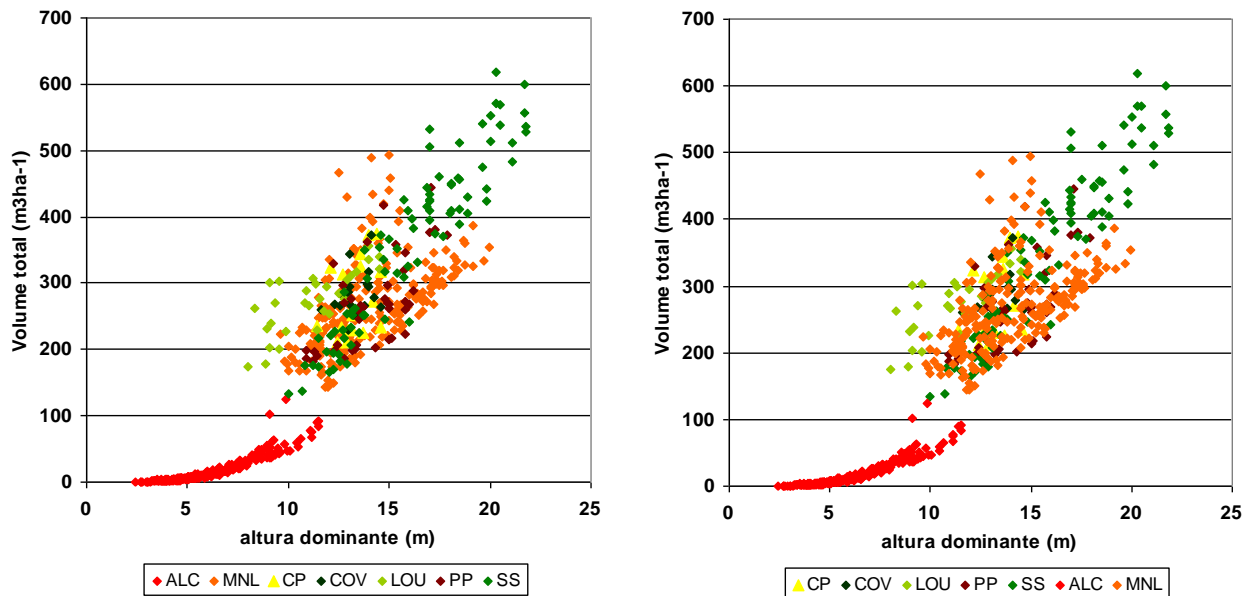


Figura 5. Dados dos diversos ensaios para a modelação da relação volume total – altura dominante. Os dois gráficos correspondem a uma ordem diferente das séries correspondentes aos vários ensaios, para melhor visualização

Os resultados da aplicação da regressão passo a passo para a selecção do melhor modelo relativo a cada uma das equações (modelos) testados levou à não inclusão do efeito da regionalização do modelo (inclusão da variável *Dunas*). De facto, a inclusão desta variável, embora significativa, levava a modelos que não tinham sentido do ponto de vista biológico, em particular modelos sem a variável altura dominante.

Os melhores modelos estão representados, em comparação com as curvas de volume total de Oliveira (1985), na figura 6. Como se pode ver, o modelo 1 parece ser o que conduz a resultados mais lógicos, pelo que foi o seleccionado. Seleccionou-se então o seguinte modelo:

$$\log(V) = (6.163310 - 0.069413 \text{ lqe}) + (13.295230 - 2.103960 \text{ lqe}) \frac{1}{\text{hdom}}$$

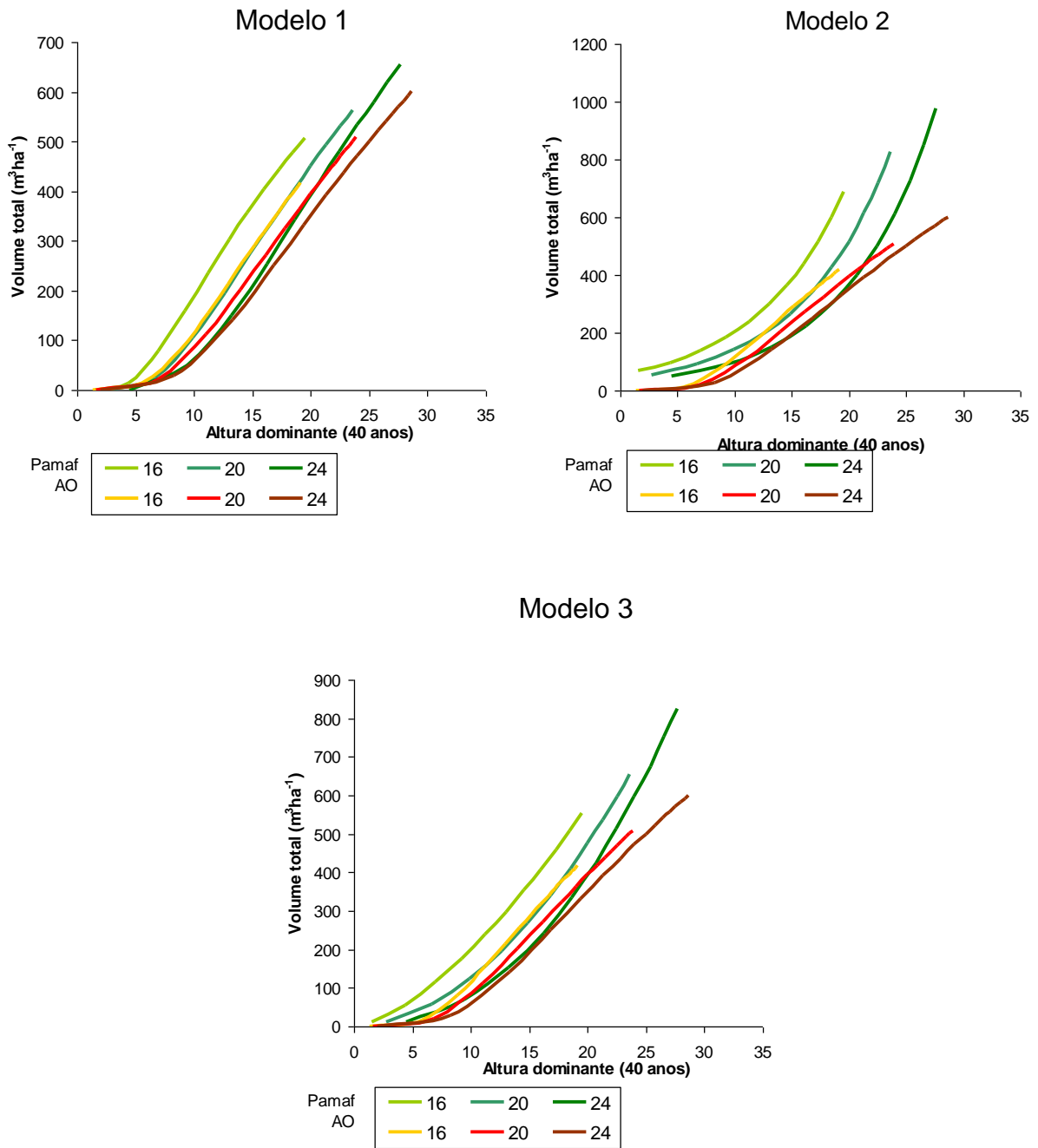


Figura 6. Comparação entre as curvas do volume total obtidas com cada um dos modelos testados em comparação com as curvas de Oliveira (1985).

3.4 Relação hipsométrica geral

A relação hipsométrica seleccionada foi a seguinte:

$$h = e^{(1.210550 + 0.165138 \ln(d) \ln(h_{dom}))} \quad R^2 = 0.8186$$

3.5 Equação de predição para o diâmetro quadrático médio

O modelo seleccionado, com base na relação passo a passo e na análise dos factores de inflação da variância (para garantir a não existência de colinearidade) foi:

$$dg = 15.589280 - 0.257551 \sqrt{N} - 8.211580 Fw + 0.510559 t - 2.415612 \text{ Dunas} \quad R^2 = 0.9412$$

3.6 Implementação da “TABELA DE PRODUÇÃO GERAL PARA O PINHEIRO BRAVO” em EXCEL

A figura 7 exemplifica a tabela de produção que foi implementada em EXCEL. O utilizador deve começar por alterar o valor do índice de qualidade da estação (célula Iqe) para o valor correspondente ao povoamento que pretende conduzir. Pode controlar a Silvicultura através de três factores:

1. Periodicidade do desbaste
2. Idade do primeiro e do último desbaste
3. Evolução do número de árvores por ha

A evolução do número de árvores por ha é feita com recurso à alteração da célula correspondente ao Factor de Wilson (Fw) ou por alteração da evolução do número de árvores que ficam após desbaste. Caso queira aplicar desbastes com base na área basal residual, pode fazê-lo com recurso à utilização da função GOAL SEEK do EXCEL; com recurso a esta função pode determinar, para cada idade em que se realiza desbaste, qual o número de árvores que deve ficar após desbaste para garantir a área basal residual pretendida.

Para cada tabela construída podem observar-se os gráficos correspondentes na sheet “Gráficos” (exemplo na figura 8).

TABELA DE PRODUÇÃO PARA UMA SILVICULTURA DEFINIDA PELO FACTOR DE WILSON

Fw 0.27
lqe 20

idade do primeiro desbaste: 20.0
idade do último desbaste: 80.0
periodicidade de desbaste: 10.0

t	POVOAMENTO PRINCIPAL (APÓS DESBASTE)						DESBASTES			Vtot	Acréscimos	
	hdom	N	dg	hmed	G	Vp	Ns	Vs	Vs-acum		ama	ac
20	10.5	2463	11.2	8.4			0	0.0	0.0	80.5	4.0	10.5
20	10.5	1238	13.2	9.0	17.0	80.5	572	55.2	55.2	185.3	6.2	9.8
30	14.4	666	19.6	12.7	20.1	130.1	214	57.6	112.8	283.0	7.1	8.2
40	17.4	451	24.7	15.7	21.7	170.2	108	48.2	161.0	364.6	7.3	6.8
50	20.0	343	29.0	18.3	22.7	203.6	65	39.1	200.1	432.4	7.2	5.7
60	22.2	278	32.7	20.5	23.4	232.3	43	31.8	231.9	489.3	7.0	4.8
70	24.1	236	35.9	22.5	23.9	257.4	30	26.0	257.9	537.7	6.7	4.2
80	25.8	206	38.8	24.2	24.3	279.7	0	0.0	257.9	579.3	6.4	3.6
90	27.4	206	40.3	25.6	26.3	318.0	0	0.0	257.9	615.6	6.2	
100	28.7	206	41.7	26.9	28.1	355.7	0	0.0	257.9			

Figura 7. Implementação da Tabela de Produção Geral para o Pinheiro Bravo em EXCEL

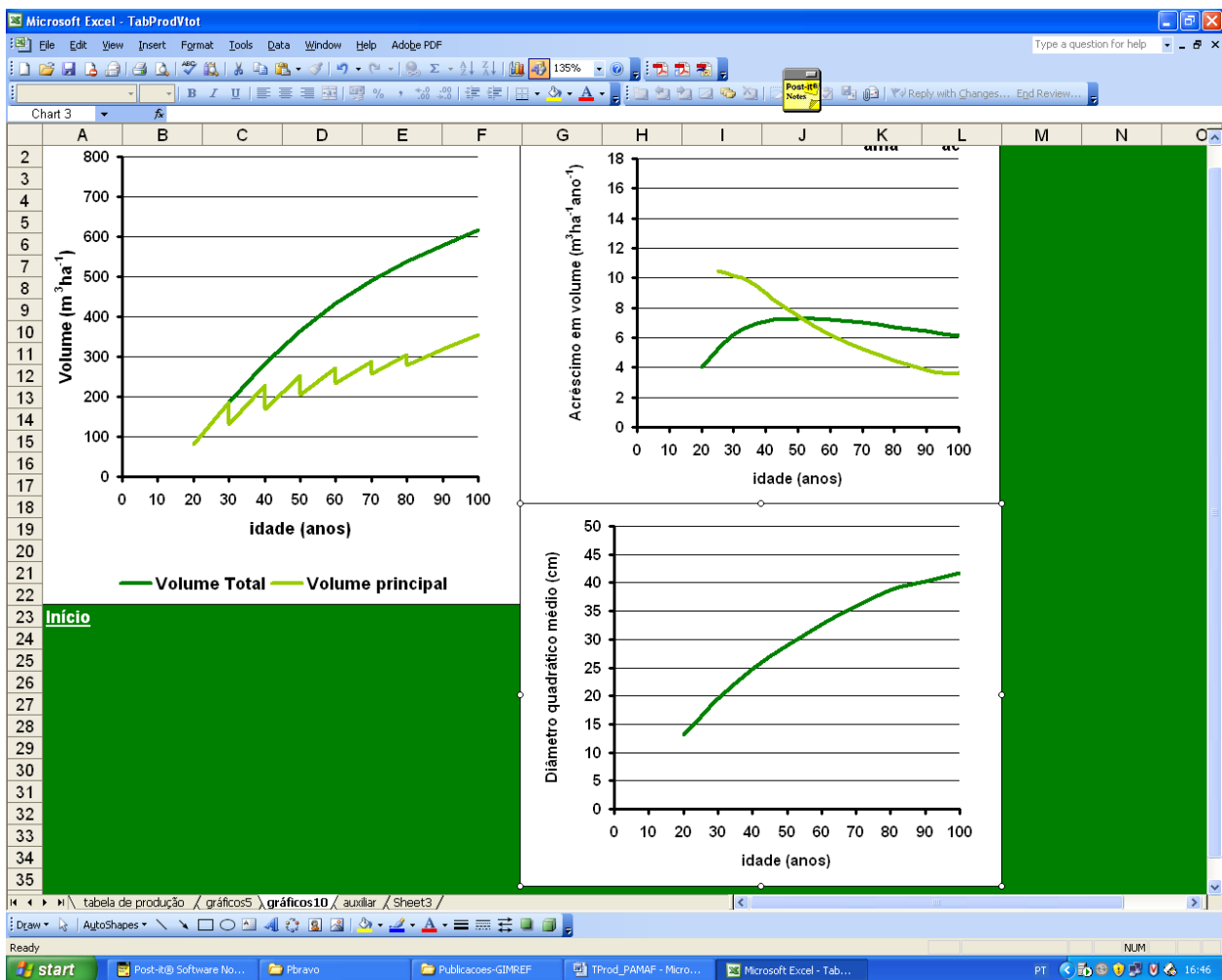


Figura 8. Exemplo dos gráficos disponíveis da tabela de produção

3.7 Referências bibliográficas

Falcão, A., 1997. Modelo DUNAS – a growth model for the National Forest of Leiria. In: A. Amaro & M. Tomé (Eds), Empirical and Process-Based Models for Forest Tree and Stand Growth Simulation, Edições Salamandra, Novas Tecnologias, Lisboa, Portugal, pp. 145-153.

Franz, F., 1969. Die Beurteilung des produktionsvermögens als entscheidungshilfe bei der Intensitätsstufenkalkulation. Allgemeine Forstzeitschrift, nº 27, Juli, Vol. 24: 550-554.

Luís, J. S., Guerra, H. P., 1999. Influence of alternative thinning regimes on *Pinus pinaster* Ait. Stand dynamics in Northern Portugal. Silva Lusitana 7(1): 11-21.

Luís, J. S., Macedo, A. S. E Fonseca, F. S., 1992. Five years results in *Pinus pinaster* thinning trials in Northern Portugal. Proceedings of the IUFRO Centennial Meeting in Berlin, pp. 81-43.

Oliveira, A., 1985. Tabela de produção geral para o pinheiro bravo das regiões montans e sub-montanas. Direcção Geral das Florestas e Centro de Estrudos Florestais, Lisboa.