

EFEITOS DA LAVOURA PROFUNDA E DA GRADAGEM NAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DE PLANTAÇÕES DE *EUCALYPTUS GLOBULUS*

INFLUENCE OF DEEP PLOUGHING AND DISC HARROWING ON SOIL CHARACTERISTICS AND PRODUCTIVITY OF *EUCALYPTUS GLOBULUS* PLANTATIONS

RQR

M. MADEIRA¹, A. AZEVEDO², P. SOARES¹, M. TOMÉ¹ & M.C. ARAÚJO³

RESUMO

Instalou-se um sistema experimental, na região centro de Portugal (Rio Maior), para comparar o efeito da mobilização superficial (gradagem) e da mobilização profunda e contínua (lavoura) do solo no crescimento de *Eucalyptus globulus* e em características físico-químicas do solo, durante um período de onze anos, o qual é usual para a primeira rotação das plantações daquela espécie.

A gradagem originou um decréscimo significativo da massa volúmica do solo até 40 cm de profundidade; este decréscimo foi, todavia, mais marcado até à profundidade de 20 cm, o limite médio atingido pela gradagem. A lavoura profunda originou igualmente o decréscimo da massa volúmica, mas só a partir da profundidade de 10 cm, o qual foi mais marcado do que no caso da gradagem a partir da profundidade de 20 cm. Em qualquer dos tratamentos ocorreu um decréscimo de teor de carbono, pH e fósforo extraível sobretudo na profundidade de 0-10 cm. Este decréscimo, que ocorreu sobretudo na fase inicial do estudo, foi mais acentuado no caso da mobilização profunda do que no da mobilização superficial. As dife-

renças entre tratamentos verificadas na fase inicial do estudo mantiveram-se durante todo o período experimental.

O crescimento das árvores não foi significativamente afectado pelos tratamentos ao longo de todo o período experimental. Os resultados são discutidos tendo em consideração as técnicas de silvicultura correntes aplicadas em Portugal para a instalação de plantações de *E. globulus*.

ABSTRACT

A field trial was carried out in Portugal on a plantation of *Eucalyptus globulus* Labill. to compare the effects of minimal (surface disc harrowing) and intensive (deep ploughing) site preparation techniques on various soil properties as well as on tree growth. The results presented cover a period of 132 months after planting.

Disc harrowing resulted in a significant decrease in bulk density to 40-cm depth. Such a decrease was especially pronounced down to 20 cm depth. Deep ploughing induced a decrease in the bulk density between 10 and 80 cm depth, but had no effect in the top soil layer (0-10 cm). Deep

¹Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1349-017, Lisboa, Portugal.

²Escola Superior Agrária de Santarém, S. Pedro, 2000-655 Santarém, Portugal.

³Celulose Beira Industrial (Celbi) S. A., 3081-853 Leirosa, Portugal.

ploughing provoked a more accentuated decrease in bulk density values than the disc harrowing, in soil layers deeper than 20 cm depth. Significant decreases in organic carbon and extractable P contents and pH values occurred in both treatments down to 10 cm depth. Decreases were in these variables, except pH, significantly higher in deep ploughed than in disc-harrowed plots. Differences between treatments in respect with soil characteristics found at the early experiment stage occurred along the experimental period.

Tree growth was not significantly affected by the treatments during the experimental period. The results are discussed with references to currently applied silvicultural techniques for managing *E. globulus* plantations in Portugal.

INTRODUÇÃO

A área ocupada por plantações de *Eucalyptus globulus* em Portugal atinge mais de 500 000 ha. Estas plantações têm sido instaladas geralmente através de preparação intensiva do solo, na convicção de que essa intensidade de preparação conduz a uma maior taxa de crescimento na fase inicial da plantação, devido a um maior volume de expansão radical, à melhoria da disponibilidade hídrica e de arejamento do solo, bem como ao controlo da vegetação espontânea (Alves, 1988).

O crescimento e desenvolvimento das árvores, bem como do respectivo sistema radicular, depende das características físico-químicas do solo (Fabião *et al.*, 1987). As propriedades físicas do solo são fortemente influenciadas pela intensidade de preparação deste (Gent *et al.*, 1984), a qual também pode conduzir à perda de matéria orgânica e de nutrientes (Poore & Fries, 1985). Os métodos de preparação do terreno para a instalação de plantações florestais revestem-

-se, por isso, de grande importância, dado influenciarem os custos e produtividade daquelas, bem como as características do solo durante períodos bastante longos (Norris, 1992). Os resultados relativos ao efeito da intensidade de preparação do terreno na produtividade das plantações são frequentemente contraditórios. Por um lado, refere-se que a elevada produtividade daquelas é indissociável da preparação intensiva do terreno (Craig, 1977; Burger & Pritchett, 1988); por outro, considera-se que a elevada produtividade das plantações é possível com ligeira preparação do terreno (Binkley, 1986; Dexter, 1991). Assim, é do maior interesse avaliar, para condições específicas, qual o efeito da intensidade de preparação do solo nas propriedades deste e na produtividade das plantações florestais (Gent *et al.*, 1984), sobretudo a longo prazo.

Neste âmbito, iniciou-se em 1983 um estudo experimental para comparar o efeito da mobilização ligeira do solo (gradagem) com a mobilização intensiva e profunda nas características do solo e na produtividade de plantações de *E. globulus*. Resultados detalhados respeitantes à primeira fase do estudo (até dois anos e meio) já foram objecto de publicação (Madeira *et al.*, 1989). No presente estudo apresentam-se alguns dos dados dessa publicação, bem como os obtidos durante o restante período experimental (até Março de 1994), por forma a analisar o efeito dos tratamentos no contexto dum período usual para a primeira rotação das plantações de *E. globulus* no nosso País.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental foi instalada na região central de Portugal (39° 20' N, 8° 51' W, 83 m de altitude), numa área com precipitação média anual da ordem de 900 mm e temperatura média anual de 15 °C; a temperatura média mensal máxima ocorre em

Julho e Agosto (21,2 °C) e a mínima em Janeiro (9,3 °C).

O estudo foi conduzido numa área de relevo ondulado suave (5 a 8 % de declive) localizada em formações de arenitos do Miocénico inferior (Zbyszewski *et al.*, 1971). Os solos correspondem a Cambissolos Dísticos (FAO, 1988) e apresentavam textura franco—arenosa a arenosa-franca e uma concentração de elementos grosseiros (>2mm) menor do que 150 g kg⁻¹. Algumas características dum pédone da área experimental estão referidas no Quadro 1. A área experimental estava ocupada por uma plantação de *Pinus pinaster* Ait. que foi sujeita a abate seis anos antes da instalação do presente sistema experimental. Antes desta instalação a cobertura vegetal do solo era constituída essencialmente por *Quercus lusitânica* L., *Quercus coccifera* L. e várias *Cistaceae*, *Ericaceae* e *Leguminosae*.

Os tratamentos foram aplicados em parcelas com a área aproximada de 30 m X 100 m, em triplicado, e em três blocos separados. Os tratamentos consistiram, por um lado, em mobilização profunda (corte e remoção do mato, gradagem superficial, lavoura até 75-80 cm de profundidade e gradagem para nivelamento do terreno) e, por outro, em mobilização pouco intensiva (corte e remoção do mato e apenas uma gradagem até 20-25 cm de profundidade).

As árvores foram plantadas com um compasso de 3 x 3 m. Aplicaram-se 20 g, a 20 cm de cada lado das plantas, de fertilizante

NPK (1:1:1). As plantas corresponderam ao clone 33 produzido pela Celbi S.A. e tinham seis meses de idade.

No interior das parcelas correspondentes a cada tratamento foram instaladas parcelas aproximadamente rectangulares para estudos biométricos. As árvores dessas parcelas foram monitorizadas 30, 102 e 132 meses após a plantação. Em todas as árvores foram medidos os diâmetros cruzados ao nível de 1,30 metros. A altura foi medida numa subamostra de árvores modelo e nas árvores dominantes, com um Blume-Leiss. As alturas das árvores restantes foram estimadas com uma curva hipsométrica local (função de Prodan, 1965) ajustada por parcela e por medição. O volume total com casca da árvore foi estimado pela fórmula de Schumacher e Hall ajustada por Tomé (1990) para a *E. globulus*. O volume total correspondente a cada tratamento resultou da soma dos volumes das árvores expressa por hectare. Para testar a hipótese de igualdade de volumes por hectare correspondentes aos dois tratamentos aplicou-se o teste de Mann-Whitney Wilcoxon ($p < 0,05$) (Conover, 1980).

Antes da aplicação dos tratamentos, foram colhidas (com uma sonda de Grove) de cada parcela atribuída a cada um deles, por cada uma das profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, nove amostras não perturbadas para determinação da massa volúmica aparente e seis (por sondagem) para a respectiva caracterização química; por

QUADRO 1 - Teores de areia grossa (Ag), areia fina (Af), limo (L) e argila (A), de carbono e azoto orgânicos, de bases de troca e de fósforo e potássio extraíveis, bem como valores de pH (H₂O) e da capacidade de troca catiónica (T), da terra fina de um pédone representativo da área experimental

Hori- zonte	Prof. cm	Granulometria						pH H ₂ O	Bases de troca				Extract.		
		Ag	Af	L	A	C	N		Ca	Mg	K	Na	T	P	K
		g kg ⁻¹						cmol _c kg ⁻¹						μg g ⁻¹	
Ah	0-20	435	357	139	69	17	5,4	6,1	1,89	0,44	0,11	0,07	5,31	3,5	63
Bw	20-50	415	318	125	142	6	2,4	5,9	1,01	0,52	0,12	0,07	3,85	1,3	68
C	50-80	434	318	122	126	3	-	5,7	0,35	0,73	0,08	0,05	2,81	-	48

QUADRO 2 - Massa volúmica aparente (g cm^{-3}) do solo antes (C) e após 18 (1), 30 (2) e 132 (3) meses da aplicação da mobilização superficial (MS) e da mobilização profunda (MP). Os valores são média \pm 1 desvio padrão (C, 18 e 30 meses: n=27, até à profundidade de 40 cm, e n=15 para as profundidades superiores; 132 meses: n=12)

Tratamentos	Profundidade (cm)						
	0-10	10-20	20-30	30-40	50-60	70-80	80-90
C	1,54 \pm 0,11 ^a	1,77 \pm 0,07 ^a	1,81 \pm 0,06 ^a	1,82 \pm 0,07 ^a	1,81 \pm 0,12	1,86 \pm 0,08	1,84 \pm 0,11
MS1	1,37 \pm 0,11 ^b	1,49 \pm 0,17 ^b	1,73 \pm 0,10 ^b	1,76 \pm 0,06 ^a	nd	nd	nd
MP1	1,59 \pm 0,11 ^a	1,61 \pm 0,14 ^c	1,63 \pm 0,12 ^c	1,66 \pm 0,13 ^b	1,70 \pm 0,10*	1,75 \pm 0,09*	1,87 \pm 0,08
MS2	1,36 \pm 0,10	1,44 \pm 0,08	1,73 \pm 0,07	1,77 \pm 0,08	nd	nd	nd
MP2	1,63 \pm 0,08*	1,65 \pm 0,07*	1,67 \pm 0,07	1,68 \pm 0,08*	nd	nd	nd
MS3	1,30 \pm 0,06	1,37 \pm 0,04	1,59 \pm 0,04	1,64 \pm 0,02	nd	nd	nd
MP3	1,51 \pm 0,06*	1,54 \pm 0,04*	1,53 \pm 0,06	1,54 \pm 0,05*	nd	nd	nd

Valores da mesma coluna com letras diferentes diferem significativamente ($p < 0,05$) pelo *Duncan's Multiple Range Test*; * Diferenças entre as médias dos tratamentos significativas ($p < 0,05$) pelo teste de *t* de Student; nd: não determinado.

cada uma das profundidades de 50-60, 70-80 e 80-90 cm foram colhidas apenas cinco amostras não perturbadas para determinação da massa volúmica. Amostragem semelhante foi efectuada 18 meses após o início do estudo, nas parcelas submetidas a mobilização profunda, enquanto nas outras a amostragem não foi além de 40 cm de profundidade. Um ano depois desta segunda amostragem fez-se nova amostragem, a qual atingiu apenas 40 cm de profundidade, em qualquer dos tratamentos. No final do ensaio (132 meses) efectuiu-se nova amostragem, até 40 cm de profundidade, para determinação da massa volúmica aparente e até 50 cm para caracterização química. Nesta amostragem colheram-se quatro amostras, por cada nível de profundidade, de cada parcela de cada tratamento.

As amostras de solo não perturbadas foram secas a 105 °C para determinação da massa volúmica. Amostras de solo perturbadas foram secas e passadas por um crivo de 2 mm de malha. O pH foi determinado na suspensão do solo: água (1:2,5) pelo método electrométrico, utilizando um potenciómetro digital modelo 632 da Methohm. O carbono orgânico total foi determinado por via húmida, segundo o método de Springer (De Leenheer & Van Hove, 1958).

A determinação do azoto Kjeldahl foi efectuada utilizando o sistema de digestão Kjeltex Auto 1030 Analyser. As bases de troca foram extraídas segundo a metodologia de Mehlich e determinadas por espectrofotometria de absorção atómica. O fósforo foi extraído pelo método de Egner-Riehm e determinado por colorimetria (Watanabe & Olsen, 1965). O carbono correspondente à fracção orgânica não humificada foi determinado também pelo método de Springer, após o isolamento daquela fracção pelo método descrito por Bruckert (1979).

Após a análise de variância, usou-se o *Duncan's Multiple Range Test* ($p < 0,05$) para testar a hipótese da igualdade dos valores médios das características do solo antes do início do ensaio e 18 meses após a aplicação dos tratamentos. Em todos os outros casos, a hipótese da igualdade das médias para as características do solo foi testada pelo teste *t* de Student.

RESULTADOS

Massa volúmica do solo

A massa volúmica do solo submetido à mobilização menos intensiva (gradagem) era, ao fim de 18 meses, significativamente

QUADRO 3 - Concentração de carbono (g kg^{-1}) antes (C) e 18 (1), 30 (2) e 132 (3) meses após a aplicação da mobilização superficial (MS) e da mobilização profunda (MP). Os valores são média \pm 1 desvio padrão (C, 18 e 30 meses: $n=18$; 132 meses: $n=12$)

Tratamentos	Profundidade (cm)				
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
C	18,2 \pm 1,6 ^a	10,7 \pm 1,4 ^a	6,0 \pm 0,8 ^a	5,6 \pm 0,9 ^a	nd
MS1	12,5 \pm 1,4 ^b	11,0 \pm 1,4 ^a	5,5 \pm 1,2 ^a	5,0 \pm 0,9 ^a	nd
MP1	5,2 \pm 1,1 ^c	7,5 \pm 1,2 ^b	5,7 \pm 0,9 ^a	5,5 \pm 1,0 ^a	nd
MS2	12,6 \pm 1,8	11,7 \pm 1,5	5,4 \pm 1,1	4,5 \pm 1,0	nd
MP2	4,6 \pm 1,2*	6,5 \pm 1,8*	5,0 \pm 1,3	5,5 \pm 1,1	nd
MS3	14,4 \pm 1,6	11,5 \pm 2,0	7,6 \pm 1,3	6,0 \pm 1,2	4,8 \pm 1,3
MP3	8,7 \pm 1,1*	7,3 \pm 1,6*	6,5 \pm 1,4	6,7 \pm 1,2	6,7 \pm 1,5

Valores da mesma coluna com letras diferentes diferem significativamente ($p<0,05$) pelo *Duncan's Multiple Range Test*; * Diferenças entre tratamentos significativas ($p<0,05$) pelo teste *t* de Student; nd: não determinado.

menor do que a determinada antes da aplicação daquela, até à profundidade de 20 cm (Quadro 2); o decréscimo foi sobretudo marcado entre 10 e 20 cm de profundidade, onde atingiu $0,28 \text{ g cm}^{-3}$. Estes resultados foram paralelos com o aumento da porosidade total (e "porosidade de arejamento"), bem como com a diminuição da compacidade até 10 cm de profundidade (Madeira *et al.*, 1989).

A mobilização mais intensiva do solo (lavoura profunda e gradagem), ao contrário da mais ligeira, não contribuiu, após 18 meses, para qualquer redução da massa volúmica aparente até 10 cm de profundidade (Quadro 2), não modificando, assim, a porosidade e a compacidade do solo (Madeira *et al.*, 1989). Aquela mobilização induziu valores de massa volúmica aparente significativamente mais baixos do que os determinados antes da respectiva aplicação, mas significativamente mais elevados do que os determinados nas parcelas submetidas a gradagem, entre 10 cm e 20 cm de profundidade. A partir de 20 cm e até 80 cm de profundidade, porém, a mobilização profunda originou valores de massa volúmica significativamente inferiores aos obtidos antes da aplicação dos tratamentos e nas parcelas apenas objecto de gradagem.

As diferenças entre os tratamentos men-

cionados também foram constatadas 30 e 132 meses após a sua aplicação. A última determinação (correspondente ao final da rotação) indicou, para qualquer deles, um decréscimo generalizado dos valores de massa volúmica relativamente aos obtidos após 18 e 30 meses de estudo. Todavia, a massa volúmica aparente das áreas sujeitas à mobilização profunda era, até 10 cm de profundidade, ainda da ordem de grandeza ($1,51 \text{ g cm}^{-3}$) daquela determinada antes de qualquer mobilização ($1,54 \text{ g cm}^{-3}$). Verificou-se, ainda, que as variações do valor de massa volúmica ocorridas na fase inicial do estudo entre tratamentos, se mantiveram ao longo de todo o período experimental, ou seja ao longo do período da rotação (Quadro 2).

Teor de carbono orgânico total

Qualquer dos sistemas de mobilização implicou um decréscimo acentuado do teor de carbono orgânico total até 10 cm de profundidade (Quadro 3). Esse teor, após 18 meses de aplicação dos tratamentos, tanto no caso da mobilização superficial ($12,5 \text{ g kg}^{-1}$) como no da mobilização profunda ($5,2 \text{ g kg}^{-1}$) era significativamente inferior ao determinado inicialmente ($18,2 \text{ g kg}^{-1}$); além disso, o teor determinado nas parcelas

gradadas era significativamente maior do que o determinado naquelas submetidas a lavoura profunda (Quadro 3).

A gradagem não induziu redução do teor de carbono entre 10 cm e 20 cm de profundidade. A mobilização profunda, pelo contrário, determinou um teor ($7,5 \text{ g kg}^{-1}$) que era significativamente menor do que o determinado antes da instalação do ensaio ($10,7 \text{ g kg}^{-1}$) e nas parcelas do tratamento alternativo ($11,0 \text{ g kg}^{-1}$), isto é, naquelas sujeitas apenas a gradagem. A partir de 20 cm de profundidade não foi evidente qualquer efeito significativo dos tratamentos na redução do teor de carbono.

A tendência verificada na fase inicial do estudo continuou a manifestar-se nas determinações efectuadas 30 e 132 meses após a aplicação dos tratamentos, indicando que um período correspondente ao de uma rotação das plantações de *E. globulus* não foi suficiente para repor o teor de carbono correspondente à situação inicial. Todavia, os teores determinados, para 0-10 cm de profundidade, no fim do período experimental, foram claramente mais elevados do que os determinados após dois anos e meio, sobretudo no caso das áreas submetidas à mobilização intensiva do solo.

Os tratamentos também implicaram

diferenças na proporção das fracções constituintes da matéria orgânica (Quadro 4). Assim, até 20 cm de profundidade, mas sobretudo até 10 cm, o teor de carbono correspondente à matéria orgânica não humificada foi significativamente mais elevado nas áreas submetidas a gradagem do que naquelas em que se aplicou a mobilização profunda. O teor da fracção humificada, embora também mais elevado nas primeiras, não apresentou, porém, diferenças significativas entre tratamentos. Assim, as diferenças entre estes no tocante ao teor de carbono total estão fortemente dependentes do teor de carbono não humificado, o qual, até 20 cm de profundidade, representava uma maior proporção da matéria orgânica nas áreas mobilizadas superficialmente do que nas outras.

Valores de pH e teores de P extraível, azoto e bases de troca

O teor de P extraível era muito baixo e decresceu ao longo do período experimental, em qualquer dos tratamentos. Aquele teor decresceu por efeito dos tratamentos, na fase inicial do estudo, até 10 cm de profundidade. No final daquele, o decréscimo era evidente até 20 cm de profundidade, sendo

QUADRO 4 - Teores de carbono total (Ct), carbono humificado (Ch) e carbono não humificado (Cnh) até à profundidade de 40 cm, no termo do período experimental. Os valores são média \pm 1 desvio padrão (C, 18 e 30 meses: n=18; 132 meses: n=12)

Prof. (cm)	Tratamento	g kg ⁻¹			
		Ct	Cnh	Ch	Ch/Ct
0-10	MS	14,4 \pm 1,6	5,7 \pm 0,8	8,7 \pm 1,1	0,60
	MP	8,7 \pm 1,1*	2,5 \pm 0,4*	6,3 \pm 1,1	0,72
10-20	MS	11,5 \pm 2,0	3,8 \pm 0,9	7,8 \pm 1,2	0,68
	MP	7,3 \pm 1,6*	1,4 \pm 0,3*	5,9 \pm 1,5	0,81
20-30	MS	7,6 \pm 1,3	1,8 \pm 0,3	5,7 \pm 0,9	0,76
	MP	6,5 \pm 1,4	1,6 \pm 0,4	4,9 \pm 1,0	0,75
30-40	MS	5,9 \pm 1,2	1,4 \pm 0,3	4,5 \pm 0,8	0,76
	MP	6,7 \pm 1,2	1,7 \pm 0,4	5,0 \pm 0,9	0,75

* Diferenças entre tratamentos significativas ($p < 0,05$) pelo teste *t* de Student.

QUADRO 5 - Valores de pH e teores de N, bases de troca e fósforo extraível antes (C) e 18 (1) e 132 (2) meses após a aplicação da mobilização superficial (MS) e mobilização profunda (MP). Os valores são média \pm 1 desvio padrão (C, e 18 meses: n=18; 132 meses: n=12)

Tratamentos	Profundidade (cm)				
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
	Fósforo extraível ($\mu\text{g g}^{-1}$)				
C	3,8 \pm 1,0 ^a	2,3 \pm 0,6 ^a	1,3 \pm 0,5 ^a	1,0 \pm 1,3 ^a	nd
MS1	3,4 \pm 1,0 ^a	2,6 \pm 0,9 ^a	0,9 \pm 0,4 ^a	0,8 \pm 0,6 ^a	nd
MP1	2,1 \pm 0,7 ^b	2,3 \pm 0,8 ^a	1,4 \pm 0,7 ^a	1,1 \pm 0,6 ^a	nd
MS2	2,0 \pm 0,2	1,4 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,4
MP2	0,8 \pm 0,1*	1,1 \pm 0,3	1,0 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1
	pH (H₂O)				
C	5,99 \pm 0,30 ^a	5,99 \pm 0,24 ^a	5,96 \pm 0,26 ^a	5,91 \pm 0,25 ^a	nd
MS1	5,65 \pm 0,29 ^b	5,69 \pm 0,24 ^b	5,75 \pm 0,30 ^a	5,85 \pm 0,28 ^a	nd
MP1	5,78 \pm 0,11 ^b	5,75 \pm 0,21 ^b	5,74 \pm 0,20 ^a	5,82 \pm 0,21 ^a	nd
MS2	5,49 \pm 0,06	5,49 \pm 0,07	5,57 \pm 0,08	5,58 \pm 0,08	5,57 \pm 0,10
MP2	5,57 \pm 0,12	5,52 \pm 0,09	5,51 \pm 0,11	5,56 \pm 0,09	5,55 \pm 0,09
	Azoto (g kg^{-1})				
MS2	0,74 \pm 0,08	0,63 \pm 0,10	0,43 \pm 0,06	0,36 \pm 0,05	0,33 \pm 0,05
MP2	0,49 \pm 0,06*	0,43 \pm 0,08	0,40 \pm 0,06	0,42 \pm 0,06	0,43 \pm 0,07
	Bases de troca ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)				
C	3,13 \pm 0,38 ^a	2,51 \pm 0,24 ^a	1,90 \pm 0,24 ^a	1,70 \pm 0,22 ^a	nd
MS1	2,36 \pm 0,38 ^b	2,34 \pm 0,29 ^a	1,80 \pm 0,24 ^a	1,65 \pm 0,20 ^a	nd
MP1	1,62 \pm 0,21 ^c	1,62 \pm 0,18 ^b	1,72 \pm 0,22 ^a	1,64 \pm 0,17 ^a	nd
MS2	2,20 \pm 0,28	1,94 \pm 0,45	1,89 \pm 0,33	1,85 \pm 0,22	nd
MP2	2,28 \pm 0,26	2,19 \pm 0,40	1,99 \pm 0,34	2,06 \pm 0,31	nd

Valores da mesma coluna com letras diferentes diferem significativamente ($p < 0,05$) pelo *Duncan's Multiple Range Test*; * Diferenças entre tratamentos significativas ($p < 0,05$) pelo teste *t* de Student; nd: não determinado.

muito mais acentuado nas áreas mobilizadas mais intensivamente.

Os valores de pH decresceram significativamente na fase inicial do estudo, em qualquer dos tratamentos, até 20 cm de profundidade. A similitude entre tratamentos continuou a verificar-se no final do ensaio, mas com valores ligeiramente mais baixos do que os determinados naquela fase inicial.

O teor de azoto, tal como verificado para o carbono, decresceu nas parcelas de qualquer dos tratamentos até 20 cm de profundidade. No termo do período experimental, a diferença entre tratamentos apenas foi significativa até à profundidade de 10 cm. Os valores da razão C/N eram ligeiramente mais elevados nas parcelas submetidas a mobilização superficial do que nas outras (Quadros 3 e 5), o que possivelmente será

reflexo da diferente proporção da fracção humificada nelas encontrada.

A soma de bases de troca decresceu substancialmente, na fase inicial, nas áreas de qualquer dos tratamentos, mas sobretudo naquelas correspondentes à mobilização profunda do solo. No termo do estudo, porém, esbateram-se as diferenças entre tratamentos, tendo inclusivamente, os valores correspondentes às áreas de mobilização profunda sido ligeiramente superiores aos das outras.

Crescimento das árvores

As características dendrométricas das árvores, tal como já havia sido verificado até dois anos e meio após a plantação (Madeira *et al.*, 1989), não apresentaram diferenças

QUADRO 6 - Valores da altura (hdom) e diâmetro (ddom) das árvores dominantes, altura média das árvores (hm), diâmetro da árvore de área seccional média (dg), área basal (G) e volume total com casca (V) das árvores de parcelas mobilizadas superficialmente (MS) e profundamente (MO), 30 (1), 102 (2) e 132 (3) meses após plantação. Os valores são média \pm 1 desvio padrão

Tratamento	hdom m	ddom cm	hm m	dg cm	G m ² ha ⁻¹	V m ³ ha ⁻¹
30 meses						
MS1	-	-	7,8 \pm 1,3	6,6 \pm 1,3	-	-
MP1	-	-	7,6 \pm 1,2	6,7 \pm 1,5	-	-
102 meses						
MS2	24,5 \pm 1,0	22,1 \pm 0,8	19,1 \pm 1,3	15,6 \pm 0,7	21,4 \pm 5,9	201,5 \pm 61,6
MP2	22,8 \pm 1,1	21,0 \pm 0,6	18,3 \pm 1,0	14,9 \pm 0,4	17,9 \pm 1,7	159,2 \pm 20,4
132 meses						
MS3	26,5 \pm 2,3	23,2 \pm 1,2	21,0 \pm 1,0	16,7 \pm 0,2	24,5 \pm 7,1	252,4 \pm 85,9
MP3	26,2 \pm 1,4	22,3 \pm 0,9	20,5 \pm 1,1	16,0 \pm 0,5	20,2 \pm 3,6	202,4 \pm 44,4

significativas ao longo de todo o período experimental (Quadro 6). No entanto, os valores da altura e diâmetro das árvores dominantes, a altura média do povoamento e o diâmetro da árvore de área seccional média foram quase sempre mais elevados nas áreas submetidas à preparação menos profunda do que nas outras. Além disso, tanto a área basal como o volume foram mais elevados nas primeiras do que nas segundas, não sendo, contudo, significativamente diferentes.

DISCUSSÃO

A gradagem traduziu-se, desde a fase inicial do estudo, por uma redução da massa volúmica aparente e da compactidade, em paralelo com o aumento da porosidade, sobretudo nas camadas superficiais do solo. A lavoura profunda, pelo contrário, não modificou os valores daqueles parâmetros na camada superficial do solo (0-10 cm); além disso, naquela fase reduziu fortemente a taxa de infiltração para a água, a qual não foi afectada pela gradagem (Madeira *et al.*, 1989). A lavoura profunda, pelo facto de apenas ter reduzido a massa volúmica das camadas subsuperficiais do solo (10-80 cm),

determinou na fase final do estudo uma forte uniformidade dos valores daquele parâmetro em toda a espessura do solo por ela afectada.

O efeito positivo na redução da massa volúmica do solo devido à gradagem também foi verificado por Gent *et al.* (1984) que constataram um efeito a longo prazo, aliás, como ocorreu no estudo vertente. A redução da massa volúmica aparente das camadas subsuperficiais devido à lavoura profunda também foi verificada recentemente (Cortez, 1996) numa plantação de *E. globulus* com sete anos de idade, em que os valores daquele parâmetro variavam entre 1,57 e 1,68 g cm⁻³ na espessura mobilizada, e subiam abruptamente nas camadas não afectadas por aquela.

A persistência de valores elevados da massa volúmica aparente na camada superficial (0-10 cm) das parcelas submetidas a lavoura profunda, para além da intensidade da preparação do terreno, também deverá atribuir-se à inversão das respectivas camadas ou horizontes, colocando à superfície aquelas com menor teor de matéria orgânica e agregação menos forte do que as superficiais. Tais condições são susceptíveis de conduzir à compactação do solo, bem como

à formação de crosta superficial (Alexandre, 1984; Huang *et al.*, 1996; Merino & Edeso, 1999), e, por isso, à redução da taxa de infiltração para a água, como aliás foi verificado para o caso vertente (Madeira *et al.*, 1989).

O alongamento das raízes sofre restrições, em solos de textura franco-arenosa, quando a massa volúmica aparente atinge 1,4-1,6 g cm⁻³, sendo mesmo inibido quando este valor é da ordem de 1,8 g cm⁻³ (Gent *et al.*, 1984). Esta informação sugere que valores de massa volúmica superiores a 1,4 g cm⁻³ poderão afectar o enraizamento em solos como os do presente estudo, cuja textura varia de franco-arenosa a arenosa-franca. Os valores da massa volúmica aparente dos solos da área experimental, antes de efectuados os tratamentos, aproximavam-se, assim, daqueles que restringem fortemente o enraizamento. A gradagem terá favorecido o enraizamento, desde o início do estudo, nas camadas superficiais do solo, dado ter reduzido o valor da massa volúmica aparente para níveis inferiores a 1,40 g cm⁻³, até 20 cm de profundidade. A lavoura profunda não reduziu a massa volúmica da camada superficial, mas contribuiu para a reduzir em profundidades superiores a 20 cm, reduzindo as condições de inibição de enraizamento em camadas mais profundas. Este diferente efeito dos tratamentos teve reflexos na distribuição do sistema radical das árvores na fase inicial do crescimento: maior concentração até 25 cm de profundidade, nas áreas submetidas a gradagem, ou entre 25 e 75 cm, naquelas submetidas a lavoura profunda (Madeira *et al.*, 1989).

Qualquer dos tratamentos reduziu, pouco depois da respectiva aplicação, o teor de carbono (e azoto), P extraível e bases de troca, bem como a capacidade de troca catiónica e valores de pH, sobretudo à superfície (0-10 cm). Esta redução, excepto o pH, foi mais pronunciada nas áreas submetidas

à mobilização mais intensiva do que nas outras (Madeira *et al.*, 1989). A redução do teor de carbono dever-se-á atribuir ao remeximento do solo durante a preparação do terreno, como também foi verificado por Merino *et al.* (1998) e Merino & Edeso (1999) em áreas de plantação de *Pinus radiata* no Norte de Espanha; aliás, estes autores, tal como os nossos resultados sugerem, indicam que a redução do teor de carbono do solo foi tanto mais elevada quanto mais intensa a perturbação do mesmo. O teor de carbono, bem como a sua variação em profundidade, encontrados por Cortez (1996) para uma plantação de *E. globulus* com sete anos de idade, num solo semelhante ao do estudo vertente e submetido a lavoura contínua, vão de encontro ao padrão observado nas parcelas submetidas à preparação mais intensiva.

O decréscimo verificado no P extraível, bases de troca, capacidade de troca catiónica e valores de pH deverá ser atribuído à perda de matéria orgânica. Esta tendência foi verificada recentemente por Merino *et al.* (1998) em áreas de plantações de *P. radiata*, em que a redução dos valores daqueles parâmetros foi tanto mais acentuada quanto mais intensiva a mobilização do solo. O decréscimo do teor de P extraível ao longo do período experimental, por seu turno, sugere a transferência de quantidades significativas daquele nutriente do solo para a biomassa e horizontes orgânicos, como foi, aliás, constatado por Cortez (1996) para plantações de *E. globulus* em solos com teor extremamente baixo de fósforo extraível.

A soma das bases de troca (bem como o cálcio e o magnésio de troca), do mesmo modo que o referido por Merino *et al.* (1998) e Merino & Edeso (1999), decresceu em qualquer dos tratamentos, e de forma mais acentuada no mais intensivo, na primeira fase do estudo (Madeira *et al.*, 1989). Todavia, no termo do período

experimental os valores determinados nas áreas de tratamento mais intensivo eram mais elevados do que os determinados na primeira fase do estudo e da mesma ordem de grandeza dos determinados nas áreas apenas sujeitas a gradagem. Este facto, sugere que a inversão de camadas terá originado a libertação de bases por alteração, como os resultados de outros autores sugerem (Johnson *et al.*, 1991; Zabowski *et al.*, 1994; Merino & Edeso, 1999). Além disso, esta hipótese é sustentada pelo facto de numa plantação de *E. globulus*, submetida a lavoura profunda e contínua, em áreas de arenitos semelhantes aos da área do presente estudo, o teor de bases de troca (e de cálcio) ter aumentado substancialmente no arenito situado imediatamente abaixo da espessura afectada pela lavoura (Madeira *et al.*, 1996).

A lavoura profunda, para além de mais dependiosa e de provocar maior perda de carbono e nutrientes, não foi benéfica comparativamente à gradagem, ao longo de todo o período experimental, no respeitante ao crescimento das árvores. Assim, não foi possível confirmar, para o caso vertente, o facto de que a preparação intensiva do terreno é essencial para o crescimento das árvores, mormente na fase inicial deste (Craig *et al.*, 1977; Burger & Pritchett, 1988). Contudo, existirão outros meios, como a ripagem profunda em combinação com a gradagem, que poderão eventualmente conduzir a efeitos positivos no crescimento das árvores, reduzindo o remeximento e evitando a inversão das camadas do solo, tal como foi recentemente demonstrado entre nós (M. C. Magalhães, comunicação pessoal).

A similitude do crescimento das árvores nos tratamentos sugere que estes não originaram condições suficientemente diferenciadas para que tal acontecesse. Por um lado, a diferente distribuição espacial do efeito dos tratamentos deverá ter contribuído para essa similitude: a gradagem melhorou sobretudo

as camadas até 20 cm de profundidade; ao passo que a lavoura profunda, afectando positivamente as camadas mais profundas, terá favorecido uma maior intensidade de enraizamento, o que é fundamental para as árvores se adaptarem melhor às condições hídricas decorrentes do nosso regime climático. Por outro, os valores de pH, o teor de carbono, bases de troca e fósforo extraível mantiveram-se semelhantes entre tratamentos ou a respectiva diferença foi-se atenuando ao longo do período experimental. Isto é, no final do estudo as condições do solo em cada um dos tratamentos eram bastante mais aproximadas do que logo após a aplicação destes.

Os resultados indicam que a recuperação de algumas características do solo, como é o caso da massa volúmica aparente da respectiva camada superficial e, sobretudo, do teor de carbono, é bastante lenta, o que corrobora os resultados de outros estudos (Merino & Edeso, 1999). Aquela recuperação não se verificou completamente ao longo do período de estudo, mormente nas áreas submetidas ao tratamento mais intensivo: mobilização intensiva e profunda. Assim, o efeito e o impacto da preparação do terreno devem ser equacionados no contexto do período da respectiva rotação.

CONCLUSÕES

A intensidade de preparação do solo não influenciou significativamente a produtividade das árvores. A preparação mais intensiva do solo conduziu, no final da revolução, a uma perda mais intensa de carbono do solo e à manutenção de elevada massa volúmica na camada superficial deste. A disponibilidade de nutrientes também foi mais reduzida pela preparação do solo mais intensiva. Assim, a preparação pouco intensiva do solo, para além de manter o nível de produtividade, também conduziu a modifi-

cações menos acentuadas do solo, sendo, além disso, seguramente mais económica.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi elaborado no âmbito da actividade do Centro de Pedologia (FCT, Programa de Financiamento Plurianual). O processamento analítico foi efectuado no laboratório de solos do Departamento de Ciências do Ambiente do Instituto Superior de Agronomia. Os autores agradecem à Celulose Beira Industrial (Celbi) S.A. a manutenção e condução da área experimental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexandre, C. A. J. 1984. *Influência de Dois Tipos de Mobilizações em Propriedades Físicas dum Solo Florestal*. Relatório de Actividade do Curso de Engenheiro Silvicultor. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Alves, A. A. M. 1988. *Técnicas de Produção Florestal. Fundamentos, Tipificação e Métodos* (2ª Edição). Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa.
- Binkley, D. 1986. *Forest Nutrition Management*. John Wiley and Sons, New York.
- Bruckert, S. 1979. Analyse des complexes organominéraux des sols. In: P. Duhaufour et B. Souchier (eds) *Pédologie. 2. Constituants et Propriétés du Sol* pp. 185-209. Masson, Paris.
- Burger, J. A. & Pritchett, W. L. 1988. Site preparation effects on soil moisture and available nutrients in a pine plantation in the Florida flatwoods. *Forest Science*, **34** (1): 77-87.
- Conover, W. J. 1980. *Practical Nonparametric Statistics (2nd Edition)*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Craig, F. G., Bren, L. J. & Hopkins, P. 1977. A study of establishment techniques for *Pinus radiata* at Weywood. *Forest Technical Paper*, **26**: 45-51. Victoria Forestry Commission.
- Cortez, N. R. S. 1996. *Compartimentos e Ciclos de Nutrientes em Plantações de Eucalyptus globulus Labill. ssp. globulus e Pinus pinaster Aiton*. Dissertação de doutoramento em Engenharia Agronómica. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- De Leenheer, L. & Van Hove, J. 1958. Determination de la teneur en carbone organique des sols. Études critiques des méthodes titrimétriques. *Pédologie*, **8**: 39-77.
- Dexter, A. Z. 1991. Amelioration of soils by natural processes. *Soil Till. Res.*, **20**: 87-100.
- Fabião, A., Madeira, M. & Steen, E. 1987. Standing root crops in *Eucalyptus globulus* plantations in West-Portugal in relation to soil characteristics. *Arid Soil Res. Rehab.*, **1**: 185-194.
- FAO/UNESCO. 1988. *Soil Map of World. Revised Legend with corrections. World Resources Report 60*. FAO, Rome. Reprinted as Technical Paper 20 ISRIC, Wageningen, 1994.
- Gent, J. A., Ballard, R., Hassan, H. E. & Cassel, D. K. 1984. Impact of harvesting and site preparation on physical properties of Piedmont forest soil. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, **48**: 173-177.
- Huang, J., Lacey, S. T. & Ryan, P. J. 1996. Impact of forest harvesting on the hydraulic properties of surface soil. *Soil Science*, **161**: 79-86.
- Johnson, C. E., Johnson, A. H., Huntington, T. G. & Siccama, T. G. 1991. Whole tree clear-cutting effects on soil horizons and organic matter pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **55**: 497-502.
- Watanabe, F. S. & Olsen, R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorous in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Society of America Proceedings*, **29**: 677-678.
- Madeira, M., Melo, M. G., Alexandre, C. A. & Steen, E. 1989. Effects of deep ploughing and superficial disc harrowing on physical and chemical soil properties and biomass in a new plantation of *Eucalyptus globulus*. *Soil Till. Res.*, **14**: 163-175.
- Madeira, M., Sousa, E., Abreu, M. M., Monteiro, F. & Medina, J. 1996. Evolução dos constituintes ferruginosos de um substrato arenítico sob influência de raízes de *Eucalyptus globulus* Labill. *XIII Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, Águas de Lindóia SP (Brasil)*. Comissão 02, nº 28. Edição em CD-ROM.
- Merino, A. & J. Edeso, M. 1999. Soil fertility rehabilitation in young *Pinus radiata* D. Don. plantations from northern Spain after intensive site preparation. *Forest Ecology and Management* **116**: 83-91.
- Merino, A., Edeso, J. M., González, M. J. & Maruári, P. 1998. Soil properties in a hilly area following different harvesting management practices. *Forest Ecology and Management*, **103**: 235-246.

- Norris, C. 1992. Site preparation options for south african forestry soils. *ICFR Bulletin Series* (8/92). ICFR, Pietermaritzburg.
- Poore, M. D. & Fries, C. 1985. *The Effects of Eucalyptus*. FAO Forestry Paper 59. FAO/Unesco, Rome.
- Prodan, M. 1965. *Holznesslehree*. I. D. Saver Lae-deis Verlag, Frankfurt (cit. Curtis, 1967).
- Tomé, J. A. L. 1990. *Estimação do Volume Total de Volumes Mercantis e Modelação do Perfil do Tronco em Eucalyptus globulus*. Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Zbyszewski, G., Manupella, G. & Ferreira, O. V. 1971. *Carta Geológica de Portugal (1:50 000). Notícia Explicativa da Folha 27 C (Torres Novas)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Zabowski, D., Skinner, M. F. & Rygiewiez, P. T. 1994. Timber harvesting and long-term productivity. Weathering processes and soil disturbance. *Forest Ecology and Management*, 66: 55-68.