

Avaliação das propriedades físicas e químicas do solo sujeito a diferentes sistemas de mobilização em soutos do Nordeste Transmontano

Effect of different soil management systems on soil physical and chemical properties in chestnut orchards of Northern Portugal

F. Raimundo¹, S. Fonseca¹, A. Martins¹ & M. Madeira²

RESUMO

Avaliaram-se várias propriedades físicas e químicas do solo de soutos do Nordeste de Portugal em que foram experimentados, a partir de 1996, quatro sistemas de preparação do solo: (a) mobilização tradicional (MT) com escarificador, (b) mobilização com grade de discos (GD), (c) instalação de pastagem semeada de sequeiro (PS) e (d) não-mobilização com vegetação herbácea espontânea (NM). Até 2004 observou-se que a massa volúmica aparente do solo foi significativamente superior nos tratamentos NM e PS do que no MT, imediatamente após as mobilizações, pois poucos meses depois essa diferença esbate-se. Os tratamentos GD, PS e NM induziram a um acréscimo da resistência à penetração na camada superficial do solo (0-12 cm); comparativamente ao tratamento MT; o tratamento GD, por seu turno, determinou menor compactação do solo do que os tratamentos NM e PS somente até 3 cm de profundidade. A concentração de N mineral do solo, até 15 cm de profundidade, atingiu os menores valores no tratamento NM; o tratamento MT apresentou um forte

aumento dessa concentração no período posterior à execução das mobilizações. Os teores de C orgânico, P e K extraíveis, Ca, Mg, K, acidez e Al de troca e os valores de pH não foram, na generalidade, influenciados significativamente pelos tratamentos, considerando o conjunto das varias camadas do solo analisadas. A produção de fruto foi menor no tratamento MT, nomeadamente nos últimos três anos de estudo (2002-2004).

ABSTRACT

Several soil physical and chemical properties were evaluated in chestnut groves subjected to several soil management systems: chisel plow, that corresponds to the traditional tillage (MT), disc harrowing (GD), with rainfed seeded pasture (PS), and no-tillage with spontaneous herbaceous vegetation (NM). Obtained results, between 1996 and 2004, showed that soil bulk density was significantly higher in treatments NM and PS than in MT, just after tillage; nevertheless, five months later, it did not show significant differences

¹ Dep. Edafologia, UTAD, Ap. 1013, 5000-911 Vila Real, e-mail: fraimund@utad.pt

² Instituto Superior de Agronomia, Dep. de Ciências do Ambiente, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa,

among treatments. In contrast to the traditional tillage, treatments GD and NM provoked an increment of the penetration resistance in the 0-12 cm soil layer; compaction in treatment GD was less than the treatments NM and PS in the 0-3 cm top soil layer only. N mineral concentration in the 0-15 cm soil layer was lowest in treatment NM, while in the treatment MT showed the highest values mostly in the period after soil tillage. Contents of organic C, extractable P and K, exchangeable acidity and Al, exchangeable bases (Ca, Mg, K), and pH values were not significantly affected by the treatments. Nut production was smaller in MT treatment, mainly during the last three years of the experiment.

INTRODUÇÃO

Diferentes motivações, entre elas, o interesse pela cultura e a tentativa de aumentar a produtividade, têm levado, nestas últimas décadas, a uma intensificação das práticas culturais nos soutos em regime de sequeiro do Norte de Portugal. Esta intensificação, expressa sobretudo por mobilizações frequentes, remoção da biomassa resultante das podas e aplicação de quantidades crescentes de fertilizantes minerais em detrimento dos orgânicos, tem sido considerada decisiva para a degradação física, química e biológica dos solos e para a propagação da doença da tinta (Portela *et al.*, 1998, 1999). Dados os possíveis efeitos negativos da prática da escarificação, bem como o respectivo custo, tem sido considerado crucial substituí-la por outras menos intensivas, que levem à diminuição das ações negativas sobre o solo e as raízes das árvores (Raimundo *et al.*, 2001; DRATM & UTAD, 2001).

De facto, vários autores (Holland & Coleman, 1987; Smethurst & Nambiar, 1990) referem que a taxa de decomposição e de libertação dos nutrientes dos resíduos orgânicos é fortemente afectada pelas mobilizações do solo. Além disso, Ismail *et al.* (1994) e Hendrix *et al.* (1998) referem que o aumento do conteúdo de MO do solo é provavelmente a modificação mais importante a longo prazo, quando se compara o sistema de não-mobilização com o da mobilização com lavoura. Pelo contrário, vários autores (Olson *et al.*, 2005; Alvarez, 2006) não observaram diferenças significativas no teor de carbono do solo ao compararem o sistema de não-mobilização com o da mobilização com escarificador. Noutros estudos (Gómez *et al.*, 1999; Tebrügge & Düring, 1999; Shipitalo *et al.*, 2000) reporta-se que a adopção do sistema de não-mobilização do solo, conduz ao aumento da compactação no horizonte superficial, limitando as trocas gasosas, e, em muitos casos, reduzindo a taxa de infiltração da água no solo, modificações que, no entanto, poderão diminuir com o tempo.

Neste contexto, desenvolveu-se um sistema experimental, localizado num souto de Lamas de Podence (Macedo de Cavaleiros), para avaliar o efeito de vários sistemas de preparação do solo nas propriedades físicas e químicas do solo, bem como, na produção de frutos. Neste estudo apresentam-se os resultados obtidos durante oito anos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área experimental

O estudo decorreu numa área de *Castanea sativa* Mill., da variedade Longal, com 50 anos de idade. As parcelas experimentais foram instaladas em 1996 e localizam-

se nas imediações de Lamas de Podence (41° 36' N, 6° 56' W; altitude 760 m). A área apresenta uma precipitação média anual de 816 mm e uma temperatura média anual entre 10 e 12,5 °C. Esta área faz parte da zona natural e zona homogênea de Bragança (Agroconsultores & COBA, 1991). A área de estudo caracteriza-se por um relevo ondulado suave (menos de 5% de declive). Os solos, formados sobre xistos do Silúrico, apresentam uma espessura entre 30 e 110 cm e integram-se numa associação cartográfica em que, por ordem decrescente de importância, figuram Lep-tossolos, Regossolos, Cambissolos e Acrissolos (FAO, 1988). Na instalação das parcelas foram excluídas as áreas de baixa, onde o solo é bastante mais profundo e por vezes mal drenado. A diferença de espessura do solo resulta da rocha apresentar camadas com uma estratificação ligeiramente oblíqua com graus de meteorização variáveis; caso uma camada de difícil meteorização se localize a seguir à camada arável o solo apresenta-se pouco evoluído. As raízes das árvores podem penetrar pelas diáclases da rocha para explorar camadas mais profundas e, por vezes, com maiores teores de terra fina. Na área experimental predominam os solos de textura média, com teor de elementos grosseiros bastante variável (entre 148 e 828 g kg⁻¹), sendo o horizonte C dos Regossolos o que apresenta esses valores extremos. Na fracção argila predomina a caulinite, com pequenas quantidades de goetite e hematite; na fracção limo predominam as micas, a que se associa alguma caulinite (Fernando Monteiro, comunicação pessoal).

Delineamento experimental

O sistema experimental incluiu quatro tratamentos: mobilização tradicional (MT), mobilização com grade de discos (GD),

pastagem semeada plurianual de sequeiro (PS), não-mobilização, com vegetação herbácea espontânea (NM). Os tratamentos MT, GD e NM foram instalados em 1996 e o tratamento PS foi-o, somente, em 1998. No tratamento MT foram efectuadas duas ou três mobilizações anuais com escarificador, a primeira após a queda da folha, a segunda no fim do Inverno e a terceira no final da Primavera, respeitando-se as práticas normalmente seguidas pelo proprietário do soute. No tratamento GD foram efectuadas mobilizações duas vezes por ano, uma no fim do Inverno para incorporação dos resíduos (folhas e ouriços) e dos fertilizantes e outra no final da Primavera. No tratamento NM, apenas se controlou a vegetação herbácea espontânea por pastoreio itinerante de ovinos ao longo do ano e a vegetação arbustiva com corte de gadanhira no final da Primavera. No tratamento PS, composta por uma mistura de trevos (trevo violeta, trevo branco, trevo subterrâneo) e gramíneas (azevém perene, panasco), o controlo da vegetação herbácea e arbustiva foi idêntico ao do tratamento NM. Em cada tratamento consideraram-se três parcelas (repetições) com distribuição casualizada, cada uma com uma área aproximada de 1200 m² e 12 a 15 árvores adultas. Foram aplicadas as mesmas quantidades de fertilizantes em todas as parcelas, mas nos tratamentos MT e GD estes foram incorporados e nos tratamentos NM e PS permaneceram na superfície do solo. Foram utilizados fertilizantes adaptados à agricultura biológica.

Amostragens e determinações de campo

A amostragem dos horizontes orgânicos dos tratamentos NM e PS foi efectuada em Outubro de 2003 (antes da queda da folha desse ano). Para o efeito colheram-se amostras em locais, escolhidos aleatoria-

mente, fora e dentro da área de projecção da copa. Para a delimitação da área de recolha utilizou-se uma armação em metal de 0,7 x 0,7 m.

A colheita de amostras não perturbadas para a determinação da massa volúmica aparente do solo foi realizada em Junho e Outubro de 2003 com recurso a uma sonda metálica de 8,5 cm de diâmetro interno e 7,5 cm de altura.

A determinação da resistência do solo à penetração foi efectuada em Abril de 2004 com recurso a um penetrógrafo digital. As medições foram efectuadas na área de projecção vertical da copa das árvores. Utilizou-se um cone com uma área de 1 cm² e com um ângulo de 60°.

A colheita de amostras para a quantificação dos parâmetros químicos do solo nos horizontes minerais foi efectuada em Outubro de 2003. Em cada tratamento foram colhidas 48 amostras compostas de solo correspondentes a 3 parcelas, 2 árvores por parcela, 2 situações (fora e dentro da área de projecção da copa) e 4 profundidades (0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm). Antes da colheita das amostras foram retirados os horizontes orgânicos que se encontravam na superfície do solo dos tratamentos NM e PS. A amostragem para a determinação do teor de azoto mineral no solo foi efectuada mensalmente entre Março e Dezembro de 2004. Para o efeito foram colhidas 6 amostras por tratamento, sob a área de projecção da copa das árvores e na profundidade de 0-15 cm.

Para estimar a produção de frutos, foi recolhida e pesada a castanha produzida em ¼ do total da área de projecção da copa de 36 árvores (3 árvores em cada parcela). A respectiva quantificação (peso seco a 45 °C) foi expressa por unidade de área de projecção da copa.

Métodos analíticos

Os teores de N (Kjeldahl) e de P dos resíduos orgânicos foram obtidos por intermédio de uma digestão sulfúrica e determinados por espectrofotometria de absorção molecular (EAM) em autoanalisador de fluxo segmentado. Para doseamento do Ca e Mg, as amostras foram submetidas a uma digestão nitroperclórica, sendo a respectiva determinação efectuada por espectrofotometria de absorção atómica (EAA); o K foi obtido por digestão idêntica à anterior, mas a determinação foi efectuada por espectrofotometria de emissão de chama (EEC).

Os valores de pH do material terroso foram determinados numa suspensão de solo e água ou KCl 1 M, na proporção de 1:2,5, com um potenciómetro. O C orgânico determinou-se por via seca a 1100 °C num analisador elementar. A determinação do N total foi efectuada pelo método referido para os materiais orgânicos. As bases de troca foram extraídas pelo acetato de amónio 1 M, sendo a determinação do Ca e Mg efectuada por EAA e a do K por EEC. O Al e a acidez de troca foram extraídos com uma solução de KCl 1 M e doseados por titulação. O teor de P e K extraíveis foi obtido pelo método de Egnér-Riehm, sendo a determinação do P efectuada por EAM e a do K por EEC. A extracção do N mineral foi feita com KCl e os teores de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ foram determinados por EAM.

Os dados foram objecto de análise de variância efectuada no programa JMP, tendo-se utilizado o teste de Tukey (P < 0,05) para efectuar a separação das médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Massa volúmica aparente do solo

Ao fim de 8 anos de ensaio, a massa volúmica aparente do solo, logo após as mobilizações e na profundidade de 0-10 cm, foi significativamente superior nos tratamentos NM e PS do que no MT. No entanto, cinco meses depois dessas mobilizações as diferenças deixaram de ser significativas entre os vários tratamentos e na profundidade de 0-10 cm, embora se tenha constatado tendência para o tratamento MT apresentar ainda menores valores (Quadro 1). Na profundidade de 10-20 cm a massa volúmica aparente do solo não apresentou diferenças significativas entre os vários tratamentos nas duas datas de amostragem. Os menores valores da massa volúmica aparente na camada superficial do solo dos tratamentos com mobilização eram previsíveis, dada a maior macroporosidade criada por essas mobilizações do solo, que atingem uma profundidade que rondou os 7 e 15 cm de profundidade, respectivamente nos tratamentos GD e MT, como se pode observar na Figura 2, referente à resistência à penetração.

Resistência do solo à penetração

Para um teor de humidade (em peso) da ordem de 24,4%, o solo mostrou um aumento dos valores da resistência à penetração com o aumento da sua profundidade em todos os tratamentos (Quadro 2 e Figura 1). Os tratamentos NM e PS apresentaram valores da resistência à penetração significativamente superiores ao tratamento GD na camada de 0 a 3 cm de profundidade. Estes três tratamentos apresentaram valores da resistência à penetração significativamente superiores ao tratamento MT até 12 cm de profundidade. A 13 cm de profundidade já não se verificaram diferenças significativas entre os vários tratamentos. Os valores da resistência à penetração, para profundidades superiores a 15 cm, podem não reflectir as condições reais de compactação do solo, dado que o penetrógrafo é sensível aos elementos grosseiros que vão aumentando em profundidade do mesmo.

Os valores da resistência à penetração estão, na generalidade, em correspondência com os valores da massa volúmica aparente do solo. Vários autores referem que a compactação do solo pode limitar o

QUADRO 1 - Massa volúmica aparente (g cm^{-3}) para as profundidades 0-10 e 10-20 cm, nos tratamentos com mobilização tradicional (MT), gradagem (GD) pastagem semeada (PS) e não-mobilização (NM). Os valores são média \pm um erro padrão ($n=6$)

Profundidade (cm)	Tratamentos			
	GD	MT	NM	PS
Junho de 2003				
0-10	1,17 \pm 0,04 ab	1,10 \pm 0,05 b	1,30 \pm 0,02 a	1,33 \pm 0,04 a
10-20	1,36 \pm 0,03 a	1,28 \pm 0,04 a	1,32 \pm 0,03 a	1,42 \pm 0,04 a
Outubro de 2003				
0-10	1,23 \pm 0,06 a	1,15 \pm 0,06 a	1,32 \pm 0,03 a	1,30 \pm 0,04 a
10-20	1,37 \pm 0,03 a	1,40 \pm 0,05 a	1,34 \pm 0,02 a	1,46 \pm 0,03 a

Letras diferentes na mesma linha representam diferenças significativas ($p<0,05$) entre tratamentos, pelo teste de Tukey.

QUADRO 2 - Resistência à penetração do solo (MPa), dentro da área de projecção vertical da copa, efectuada em Abril de 2004. Os valores são média ± um erro padrão (n=63). Os tratamentos são os referidos no Quadro 1

Profundidade (cm)	Tratamentos			
	GD	MT	NM	PS
0	1,03±0,09 b	0,44±0,05 c	1,85±0,09 a	1,79±0,07 a
1	1,24±0,10 b	0,54±0,06 c	1,98±0,10 a	1,84±0,07 a
2	1,36±0,10 b	0,66±0,06 c	1,99±0,10 a	1,86±0,07 a
3	1,50±0,11 b	0,74±0,06 c	1,99±0,10 a	1,86±0,07 a
4	1,62±0,11 b	0,88±0,07 c	1,98±0,10 a	1,90±0,07 ab
5	1,71±0,12 a	0,99±0,07 b	1,91±0,09 a	1,91±0,07 a
6	1,82±0,13 a	1,09±0,08 b	1,93±0,08 a	1,92±0,07 a
7	1,93±0,13 a	1,27±0,08 b	1,95±0,09 a	1,95±0,07 a
8	2,02±0,12 a	1,42±0,09 b	1,99±0,10 a	2,00±0,08 a
9	2,11±0,12 a	1,59±0,09 b	2,19±0,12 a	2,01±0,08 a
10	2,28±0,11 a	1,69±0,09 b	2,27±0,12 a	2,10±0,08 a
11	2,33±0,11 a	1,87±0,10 b	2,27±0,11 a	2,14±0,09 ab
12	2,45±0,11 a	1,98±0,11 b	2,32±0,12 ab	2,25±0,10 ab
13	2,42±0,10 a	2,16±0,11 a	2,37±0,13 a	2,39±0,10 a
14	2,46±0,10 a	2,28±0,11 a	2,34±0,13 a	2,43±0,11 a
15	2,51±0,11 a	2,32±0,11 a	2,31±0,13 a	2,54±0,11 a
17	2,49±0,10 a	2,49±0,13 a	2,58±0,15 a	2,66±0,13 a
20	2,61±0,11 a	2,55±0,14 a	2,82±0,18 a	2,63±0,13 a
25	2,72±0,12 a	2,65±0,14 a	2,98±0,14 a	2,85±0,16 a
30	3,11±0,14 a	2,73±0,14 a	3,12±0,17 a	2,97±0,19 a
35	3,36±0,17 a	2,94±0,16 a	2,96±0,15 a	3,13±0,22 a
40	3,28±0,17 a	3,02±0,18 a	3,12±0,15 a	3,30±0,23 a
45	3,58±0,21 a	3,10±0,24 a	3,40±0,20 a	3,65±0,24 a

Letras diferentes na mesma linha representam diferenças significativas (p<0,05) entre tratamentos, pelo teste de Tukey

crescimento das raízes. Russel (1977) considera que uma massa volúmica aparente de 1,55 g cm⁻³ constitui o limiar para que se observem restrições ao crescimento das raízes num solo de textura argilosa. Costa (1979), por seu turno, refere que uma massa volúmica aparente igual ou superior a 1,75 g cm⁻³, em solos de textura grosseira, e a 1,50 g cm⁻³, em solos de textura fina, podem criar condições que dificultam o crescimento das raízes. Ehlers *et al.* (1983), na cultura da aveia, observaram que o crescimento das raízes se detinha em solos mobilizados quando a resistência à penetração era superior a 3,6 MPa e nos

solos não mobilizados quando aquele limite se fixava entre 4,6 a 5,1 MPa. Pastor (1991), por sua vez, observou que valores próximos de 5 MPa, em solo não mobilizado, não limitaram o crescimento radical nem a produção de fruto em vários olivais. No estudo vertente, apesar de não se conhecer a capacidade de penetração radical do castanheiro, se atendermos aos dados da massa volúmica aparente (1,10 a 1,46 g cm⁻³), bem como aos correspondentes à resistência à penetração (valores próximos de 3,5 MPa, a 45 cm de profundidade), podemos considerar que o crescimento radical das árvores não terá sido grande-

mente afectado em qualquer dos sistemas de mobilização.

Horizontes orgânicos

A quantidade de resíduos orgânicos na superfície do solo do tratamento NM (oito anos depois de iniciado), foi significativamente superior sob a área de projecção da copa ($13,7 \text{ t ha}^{-1}$) do que fora dessa área ($4,3 \text{ t ha}^{-1}$) (Quadro 3). O N foi o nutriente que ocorria nessas camadas orgânicas em maiores quantidades, sendo significativamente superior sob a área de projecção da copa (249 kg ha^{-1}) do que fora dessa área (106 kg ha^{-1}). Os restantes nutrientes, excluindo o K, também apresentaram o mesmo comportamento em relação a essas duas situações (Quadro 3).

O tratamento PS (cinco anos depois da instalação) apresentou uma quantidade de

resíduos orgânicos na superfície do solo, também, significativamente superior sob a área de projecção da copa ($11,4 \text{ t ha}^{-1}$) do que fora dessa área ($4,5 \text{ t ha}^{-1}$) (Quadro 3). Neste tratamento as quantidades de N, K, Ca e Mg existentes nesses resíduos não se apresentaram significativamente diferentes entre as duas situações.

Os dois tratamentos e para o conjunto das duas situações, não apresentaram diferenças significativas para os vários parâmetros analisados, embora o tratamento NM apresentasse quantidades ligeiramente superiores de MO, N, P, K e Ca nessas camadas orgânicas do solo.

A substituição do sistema de gestão tradicional do solo dos soutos pelo tratamento NM ou PS levará à acumulação de resíduos orgânicos na superfície do solo. Essas camadas orgânicas reduzem as amplitudes térmicas e a evaporação na superfície

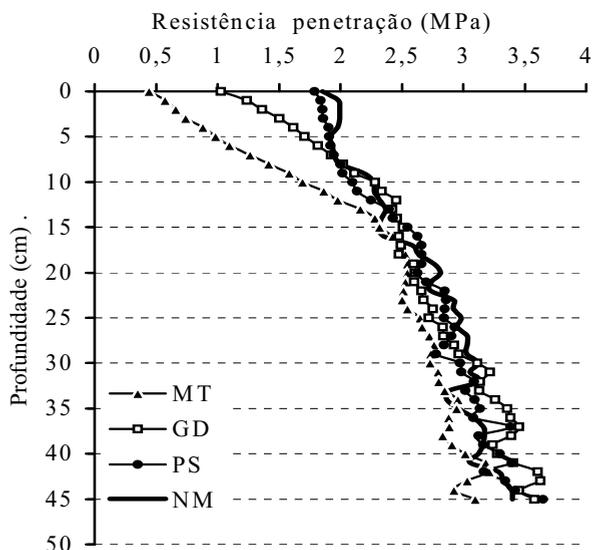


Figura 1 - Resistência à penetração do solo (MPa) a várias profundidades do solo, efectuada dentro da área de projecção vertical da copa, nos tratamentos com mobilização tradicional (MT), gradagem (GD), pastagem semeada (PS) e não-mobilização (NM)

QUADRO 3 - Quantidade de matéria orgânica (MO), N, P, K, Ca e Mg nos horizontes orgânicos (n = 6). Os tratamentos são os referidos no Quadro 1. Os valores são média ± um erro padrão. Letras diferentes para a mesma coluna e tratamento representam diferenças significativas (p<0,05) pelo teste de Tukey, entre a situação sob a área de projecção vertical da copa (Copa) e fora dessa área (Clareira)

Tratamentos	Situação	MO	N total	P	K	Ca	Mg
		----- kg/ha -----					
NM	Copa	13723±2006 a	249±42 a	31±6 a	211±37 a	216±37 a	38±6 a
	Clareira	4256±567 b	106±16 b	16±2 b	357±60 a	83±12 b	36±5 b
PS	Copa	11410±1710 a	198±28 a	27±4 a	288±72 a	153±18 a	49±8 a
	Clareira	4583±1157 b	127±29 a	14±3 b	242±60 a	88±23 a	27±7 a

do solo (Raimundo *et al.*, 2002; Raimundo, 2003) e conduzem também à acumulação de quantidades apreciáveis de nutrientes. Não obstante a acumulação de resíduos na superfície do solo, não se observaram diferenças na quantidade de N mineralizado no solo entre o tratamento MT e NM. Pelo contrário, foi o tratamento PS que apresentou maiores valores de mineralização do N no solo (Raimundo *et al.*, 2004).

Parâmetros químicos do solo nos horizontes minerais

Carbono

O C orgânico dos horizontes minerais apresentou teores bastante semelhantes entre os vários tratamentos (Quadro 4). No entanto, considerando a quantidade de C dos horizontes minerais e dos horizon-

tes orgânicos (Quadro 6) o tratamento NM mostrou tendência para apresentar os valores superiores e o tratamento MT para apresentar os valores inferiores, mas sem diferenças significativas entre os vários tratamentos. A variação da concentração de C com a profundidade do solo (Figura 2) mostrou uma grande similitude entre os vários tratamentos.

Em climas temperados, a maioria dos autores considera que o sistema de não-mobilização leva a um aumento do teor da matéria orgânica do solo, comparativamente ao verificado para a mobilização que incorpora os resíduos (Duiker & Lal, 1999; Bayer *et al.*, 2000). Num estudo de decomposição *in situ* realizado com folhas e ouriços de castanheiro em *litterbags* (Raimundo *et al.* em publicação) verificaram uma decomposição bastante mais rápida desta folhada quando incorporada

QUADRO 4 - Teor de C total, P e K extraíveis, valor do pH (em H₂O e KCl) e capacidade de troca catiónica efectiva (CTCE), para o conjunto das várias profundidades do solo (0-30 cm), em Outubro de 2003. Os valores são média ± um erro padrão (n = 48). Os tratamentos são os referidos no Quadro 1

Trat.	CT	P	K	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	CTCE
	g kg ⁻¹	----- mg kg ⁻¹ -----				
GD	22,91±2,04 a	66,36±11,40 a	116,25±15,18 a	4,93±0,06 a	3,95±0,05 a	2,53±0,17 a
MT	20,16±1,95 a	54,07±7,02 a	126,49±12,07 a	5,08±0,05 a	4,04±0,03 a	2,75±0,13 a
NM	22,64±1,90 a	50,56±9,09 a	111,25±8,37 a	5,02±0,06 a	4,01±0,05 a	2,64±0,24 a
PS	21,25±1,96 a	55,53±8,05 a	108,72±8,04 a	5,10±0,05 a	4,01±0,04 a	2,88±0,21 a

Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas (p<0,05) entre tratamentos, pelo teste de Tukey

QUADRO 5 - Teor em Ca, Mg, K, acidez de troca (AT) e Al de troca e grau de saturação em bases (GSB) em relação à CTCE, para o conjunto das várias profundidades do solo (0-30 cm), em Outubro de 2003. Os valores são média \pm um erro padrão (n = 48). Os tratamentos são os referidos no Quadro 1

Trat.	Ca	Mg	K	AT	Al	GSB
	----- cmol _c kg ⁻¹ -----					(%)
GD	0,92 \pm 0,16 a	0,28 \pm 0,03 a	0,30 \pm 0,04 a	0,99 \pm 0,07 a	0,98 \pm 0,07 a	50,69 \pm 4,00 a
MT	1,13 \pm 0,14 a	0,30 \pm 0,03 a	0,36 \pm 0,03 a	0,92 \pm 0,08 a	0,89 \pm 0,09 a	58,77 \pm 4,35 a
NM	1,16 \pm 0,23 a	0,26 \pm 0,03 a	0,30 \pm 0,02 a	0,89 \pm 0,07 a	0,87 \pm 0,08 a	54,38 \pm 3,99 a
PS	1,44 \pm 0,21 a	0,33 \pm 0,04 a	0,29 \pm 0,02 a	0,79 \pm 0,08 a	0,78 \pm 0,08 a	61,38 \pm 4,23 a

Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre tratamentos, pelo teste de Tukey

do que quando posicionada na superfície do solo. Assim, será de admitir que no sistema com total incorporação da folhada a degradação da matéria orgânica do solo ocorra mais rapidamente do que no sistema de não-mobilização. No nosso caso, não se verificaram diferenças significativas no teor de C entre os tratamentos MT (onde se incorpora grande parte da folhada) e o tratamento NM, embora, tal como observaram Olson *et al.* (2005) e Alvarez (2006), se observe uma tendência para a mobilização com escarificador apresentar menor teor de C do que a não-mobilização. O tratamento GD (onde a incorporação da folhada é bastante reduzida) apresentou teores intermédios de C entre os tratamentos MT e NM. O tratamento PS apresentou menor teor de C do que o tratamento NM, possivelmente, porque foi instalado dois anos mais tarde.

Fósforo e potássio extraíveis

O P extraível dos horizontes minerais apresentou valores bastante semelhantes entre os vários tratamentos (Quadros 4), apresentando, segundo LQARS (2000), valores altos na camada de 0-5 cm e muito baixos na de 20-30 cm. Verificou-se, no entanto, um gradiente de variação da concentração desse nutriente com a profundidade do solo mais acentuado no tratamento NM do que nos restantes tratamentos (Figura 2). Essas diferenças devem-se à aplicação de fertilizantes fosfatados nos primeiros anos depois da instalação do ensaio e ao facto do P ser pouco móvel no solo, ficando fundamentalmente retido na camada de 0-5 cm de profundidade, quando os solos não são mobilizados. Esta estratificação da distribuição do P no solo, segundo Erbach (1982) não trará efeitos

QUADRO 6 - Quantidade de C (t/ha) nos horizontes minerais na profundidade de 0-30 cm e nos horizontes orgânicos e a respectiva soma (C total do sistema). Os valores são média \pm um erro padrão (n = 12). Os tratamentos são os referidos no Quadro 1

	GD	MT	NM	PS
Horizontes minerais	77,1 \pm 8,1 a	64,1 \pm 6,5 a	77,9 \pm 4,8 a	72,5 \pm 4,7 a
Horizontes orgânicos	-	-	5,2 \pm 1,0 a	4,6 \pm 0,8 a
C total do sistema	77,1 \pm 8,1 a	64,1 \pm 6,5 a	83,1 \pm 5,6 a	77,1 \pm 5,2 a

adversos em termos das produções, o que é corroborado pelos nossos resultados, dado o tratamento NM ter apresentado as maiores produções médias de fruto no conjunto dos vários anos do estudo.

O teor de K extraível não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos para o conjunto das várias profundidades (Quadro 4), apresentando valores altos na camada de 0-5 cm e médios na de 20-30 cm. Para cada profundidade não se verificaram, também, diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 2).

Valores de pH e Acidez e Al de troca

Os valores de pH do solo em água e em KCl não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Quadro 4). No entanto, verificou-se uma tendência para o tratamento GD apresentar menores valores do que os restantes tratamentos, principalmente nas camadas mais profundas (Figura 2).

A acidez de troca e o Al de troca, tal como o valor de pH, não apresentaram diferenças significativas entre tratamentos, verificando-se uma tendência para o tratamento GD apresentar os maiores valores de acidez e o tratamento PS os menores valores (Quadro 4).

Numerosos estudos realizados em áreas de clima temperado mostraram que o sistema de não-mobilização leva à acidificação da camada superficial do solo, passados poucos anos depois da sua adopção, em comparação com a mobilização convencional do solo (Dick, 1983; Unger, 1991; Thomas, 1986; Ismail *et al.*, 1994). No nosso estudo verificou-se essa tendência na amostragem de Fevereiro de 2000 (4 anos depois do início do estudo) (Raimundo, 2003). Na amostragem de Outubro de 2003, porém, essa tendência já não se observou, sendo o tratamento GD o que

apresentou os maiores valores da acidez do solo.

Capacidade de troca catiónica efectiva

A capacidade de troca catiónica efectiva (CTCE) era baixa e da mesma ordem de grandeza nos solos dos diversos tratamentos, variando entre 2,5 e 2,9 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ no conjunto das quatro camadas analisadas (Quadro 4). O tratamento NM foi o que apresentou uma maior estratificação entre as duas primeiras camadas, verificando-se o valor de 4,5 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ na camada de 0-5 cm e o de 2,2 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ na camada de 5-10 cm. A CTCE ligeiramente superior na camada de 0-5 cm do tratamento NM e PS deverá resultar do C orgânico se concentrar na camada superficial desse tratamento.

Bases de troca e grau de saturação em bases

O teor de Ca, no conjunto das profundidades consideradas, não apresentou diferenças significativas entre os vários tratamentos (Quadro 5). Tal como o P extraível, os teores de Ca de troca do tratamento NM apresentavam maior estratificação do que nos outros tratamentos (Figura 2). Assim, os tratamentos NM (3,2 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) e PS (3,1 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) foram os que apresentaram maiores valores na camada de 0-5 cm, com diferenças significativas para o tratamento GD (2,2 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$). Por outro lado, na camada de 5-10 cm foi o tratamento NM (0,9 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) que apresentou os menores valores, com diferenças significativas para o tratamento PS (1,9 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$). Na camada de 10-15 cm foi o tratamento GD (0,3 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) que apresentou os menores valores e eram significativamente inferiores aos do tratamento PS (0,5 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$).

O Mg de troca apresentou, no geral, um comportamento bastante idêntico ao do Ca

de troca, não apresentando, no conjunto das profundidades consideradas, diferenças significativas entre os vários tratamentos (Quadro 5). Para cada uma das profundidades, também, não se verificaram diferenças significativas entre os vários tratamentos. A diferença mais notória em relação ao Ca de troca foi que na camada de 0-5 cm, o tratamento PS ($0,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) apresentou maiores valores do que o tratamento NM ($0,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

O K de troca, tal como se verificou para o K extraível, não apresentou teores significativamente diferentes entre os vários tratamentos, tanto no conjunto das profundidades (Quadro 5), como individualmente para cada profundidade. Apesar de não se verificarem diferenças significativas, o tratamento MT foi o que apresentou os maiores teores nas primeiras três profundidades consideradas (Figura 2).

O grau de saturação em bases (GSB) no conjunto das várias profundidades não apresentou diferenças significativas entre tratamentos (Quadro 5), embora se tenham observado os menores valores no tratamento GD e os maiores valores no tratamento PS. Na profundidade de 0-5 cm o tratamento GD apresentou valores significativamente inferiores ($82,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) aos restantes tratamentos (MT = $92,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; NM = $90,9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; PS = $92,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Na profundidade de 5-10 cm, os tratamentos GD ($63,9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e NM ($61,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) apresentaram valores significativamente inferiores aos tratamentos MT ($79,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e PS ($78,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Na profundidade de 10-20 cm o tratamento GD ($31,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) voltou a apresentar valores significativamente inferiores ao tratamento PS ($45,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

Segundo as tabelas do LQARS (2000), o solo das parcelas experimentais apresentava teores muito baixos de Ca e Mg e teores

médios de K. Os valores de Ca e Mg foram superiores no tratamento PS, verificando-se, assim, neste tratamento um maior equilíbrio destes três nutrientes.

Vários autores (Blevins *et al.*, 1978; Haynes, 1980; Thomas, 1986) reportam que os solos não mobilizados apresentam normalmente menores teores de Ca e Mg na camada superficial do que aqueles frequentemente mobilizados, atribuindo essa tendência à maior lixiviação do Ca e Mg nos solos não mobilizados. Os resultados observados no estudo vertente são substancialmente diferentes. No tratamento GD verificou-se uma tendência para apresentar o menor GSB no conjunto das várias camadas amostradas, enquanto na camada de 0-5 cm foram os tratamentos não mobilizados (NM e PS) que apresentaram valores de GSB significativamente superiores aos tratamentos mobilizados. Isto poderá resultar da folhada restituída ao solo apresentar uma diferente dinâmica de decomposição e distribuição desses nutrientes em profundidade nos tratamentos mobilizados e não mobilizados como se observou no estudo de decomposição de resíduos de castanheiro (Raimundo *et al.*, em publicação).

Azoto mineral

O teor de N mineral ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) no solo (Figura 3) não apresentou diferenças significativas entre tratamentos nas duas primeiras amostragens. Na terceira amostragem foi o tratamento PS que apresentou valores significativamente superiores aos restantes. No tratamento MT, depois de efectuar a mobilização do solo (dia 19 de Maio), observaram-se os maiores teores de N mineral no solo. No Outono foi o tratamento NM que apresentou os menores valores, com diferenças significativas para o tratamento PS e MT em Outubro e Dezembro.

A concentração de N mineral no tratamento MT apresentou um aumento signifi-

cativo nas amostragens seguintes à mobilização (amostragens efectuadas 34 e 76 dias

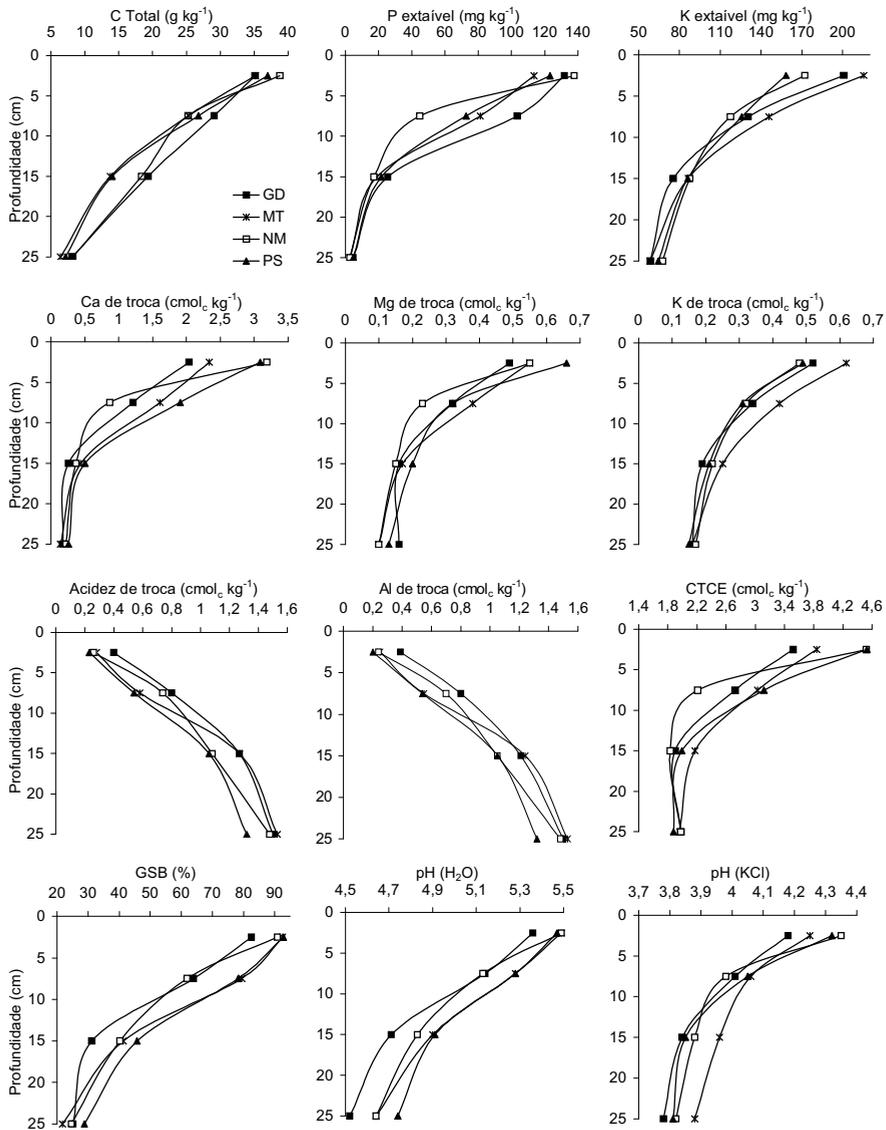


Figura 2 - Teor em C total, P e K extraíveis, Ca, Mg, K, acidez e Al de troca, capacidade de troca catiónica efectiva (CTCE), grau de saturação de bases (GSB), e valor de pH (em H_2O e KCl) do solo em Outubro de 2003, para as profundidades 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm. Os tratamentos são os referidos na Figura 1

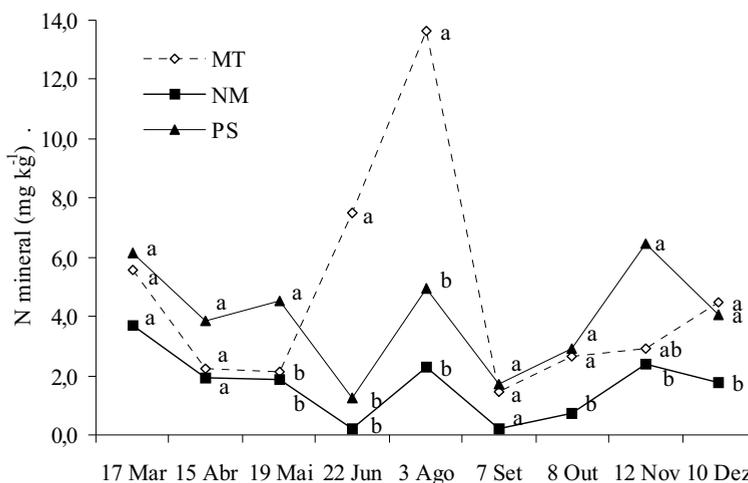


Figura 3 - Teor de N ($N-NH_4^+$ + $N-NO_3^-$) no solo, determinado a 0-15 cm de profundidade, nos tratamentos mobilização tradicional (MT), pastagem semeada (PS) e não-mobilização (NM) ($n = 6$). Letras diferentes na mesma data indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre tratamentos, pelo teste de Tukey

depois da mobilização do solo). Esse aumento poderá dever-se, muito provavelmente, à não absorção do N do solo, devido ao corte das raízes do castanheiro e arranque das herbáceas, dado que o tratamento MT atinge profundidades de mobilização próximas de 15 cm. Este facto leva-nos a concluir que as mobilizações com escarificador na Primavera são extremamente prejudiciais para o castanheiro dado que, além de outros efeitos, diminuem a absorção de N numa fase em que este nutriente é muito importante para a planta. A confirmação desta suposição está na análise foliar efectuada em Setembro de 2003 e 2004 (dados não publicados), observando-se teores de N significativamente menores no tratamento MT do que nos tratamentos NM e PS.

Produção de frutos

Nos oito anos de estudo (seis para o tratamento PS) a produção de castanha foi quase sempre mais baixa no tratamento MT

do que nos outros tratamentos considerados (Figura 4). No entanto, entre 1997 a 2002 não se registaram diferenças significativas entre os vários tratamentos; somente nos últimos três anos de estudo a diferença entre o tratamento MT e os restantes se dilatou, apresentando produção significativamente mais baixa do que no tratamento GD em 2003 e do que os tratamentos NM e PS em 2004. A produção média de fruto, no conjunto dos vários anos do estudo, não apresentou diferenças significativas entre os vários tratamentos, mas os valores foram mais elevados no tratamento NM (202 g m^{-2}), seguido do tratamento GD (187 g m^{-2}) e do tratamento PS (182 g m^{-2}), ocorrendo os menores valores no tratamento MT (144 g m^{-2}). Sublinha-se, no entanto, que ao tratamento PS corresponderam menos anos de estudo e no primeiro ano da sua instalação ocorreu uma redução de produção muito acentuada, pois no ano de 1999, como se verifica na Figura 4, foi o tratamento que apresentou as menores produções de fruto.

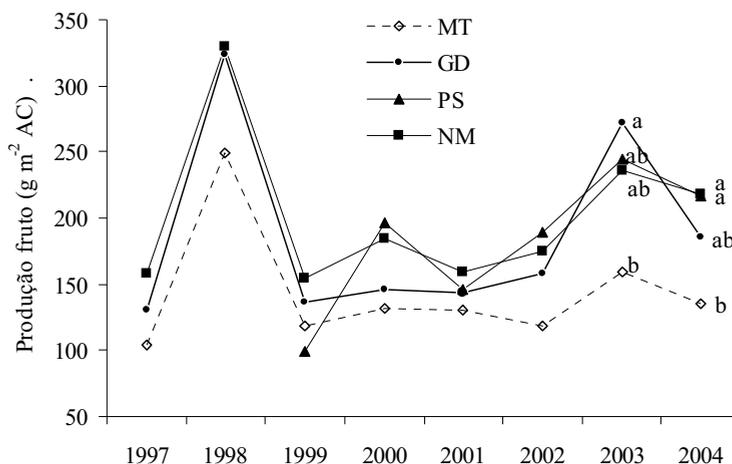


Figura 4 - Valores médios da produção de castanha (peso seco a 45 °C) para os vários anos do estudo, nos tratamentos mobilização tradicional (MT), gradagem (GD), pastagem semeada (PS) e não-mobilização (NM) (n = 9). Nos anos em que se colocaram letras, existem diferenças significativas ($p < 0,05$) entre tratamentos, pelo teste de Tukey. AC - área de projecção vertical da copa

CONCLUSÕES

O sistema de mobilização do solo com escarificador (mobilização tradicional) foi aquele que apresentou efeitos mais negativos ao desenvolvimento do castanheiro para a produção de fruto. Este sistema leva à injúria das raízes do castanheiro na camada superficial (0-15 cm), não permitindo, assim, o melhor aproveitamento dos nutrientes por parte das árvores no período posterior à sua execução, tendo como consequência a menor produção de fruto. O sistema de não-mobilização do solo com vegetação herbácea espontânea, o sistema de mobilização com grade de discos e o sistema com pastagem semeada plurianual de sequeiro levaram a um aumento da resistência à penetração e da massa volúmica aparente do solo na camada superficial em relação ao sistema de mobilização tradicional, mas as dife-

renças verificadas não comprometem o bom desenvolvimento do castanheiro.

AGRADECIMENTOS

O estudo foi desenvolvido no âmbito dos projectos PAMAF 4029 e PRAXIS, 3/3.2/FLOR/2123/95. Os autores agradecem ao Sr. João Xavier e ao Dr. Osório Araújo a disponibilização do terreno para a área experimental e ao Laboratório de Solos da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, na pessoa do Prof. João Coutinho, o apoio analítico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agroconsultores & COBA. 1991. *Carta de Solos, Carta de Utilização Actual da Terra e Carta da Aptidão da Terra do*

- Nordeste de Portugal*. DRATM & UTAD, Vila Real.
- Alvarez, R. 2006. Changes in soil organic carbon contents and nitrous oxide emissions after introduction of no-till in pampean agroecosystems. *J. Environ. Qual.*, **35**: 3-13.
- Bayer, C., Mielniczuk, J., Amaro, T.J., Martin-Neto, L. & Fernandes, S.V. 2000. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil Tillage Res.*, **54**: 101-109.
- Blevins, R.L., Murdock, L.W. & Thomas, G.W. 1978. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. *Agron. J.*, **70**: 322-326.
- Costa, J.B. 1979. *Caracterização e Constituição do Solo*. 2ª ed., Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Dick, W.A. 1983. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **47**: 102-107.
- DRATM & UTAD, 2001. *Recomendações para a Instalação e Condução de Soutos* – Brochura para Apoio a Técnicos Agrários. Mirandela.
- Duiker, S.W. & Lal, R. 1999. Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a Luvisol in central Ohio. *Soil Tillage Res.*, **52**: 73-81.
- Ehlers, W., Kopke, V., Hesse, F., Bohm, W. 1983. Penetration resistance and root growth of oats tilled and untilled loess soil. *Soil Tillage Res.*, **3**: 261-275.
- Erbach, D.C. 1982. Tillage for continuous corn and corn-soybean rotation. *Trans. ASAE* **25**: 906-918.
- FAO. 1988. FAO/Unesco. Soil Map of the World, Revised Legend. *World Soil Resources Report* 60. FAO, Rome.
- Gómez, J.A., Giráldez, J.V., Pastor, M. & Fereres, E. 1999. Effects of tillage method on soil physical properties, infiltration and yield in olive orchard. *Soil Tillage Res.*, **52**: 167-175.
- Haynes, R.J. 1980. Influence of soil management practice on the orchard agroecosystem. *Agro-Ecosystems*, **6**: 3-32.
- Hendrix, P.F., Franzluebbers, A.L. & McCracken, C.V. 1998. Management effects on C accumulation and loss in soils of the southern Appalachian Piedmont of Georgia. *Soil Tillage Res.*, **47**: 245-251.
- Holland, E.A. & Coleman, D.C. 1987. Litter placement effects on microbial and organic matter dynamics in an agroecosystem. *Ecology*, **68**: 425-433.
- Ismail, I., Blevins, R.L. & Frye, W.W. 1994. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **58**: 193-198.
- LQARS. 2000. *Manual de fertilização das culturas*. Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, Lisboa.
- Olson, K.R., Lang, J.M., Ebelhar, S.A. 2005. Soil organic carbon changes after 12 years of no-tillage and tillage of Grantsburg soils in southern Illinois. *Soil Tillage Res.*, **81**: 217-225.
- Pastor, M. 1991. *Estudio de Diversos Métodos de Manejo del Suelo Alternativos al Laboreo en el Cultivo del Olivo: no Laboreo y Laboreo Reducido*. Instituto de Estudios Giennenses, C.S.I.C., Diputación Provincial de Jaén, Jaén.
- Portela, E., Aranha, J. Martins, A. & Pires, A.L. 1999. Soil factors, farmers practices and chestnut ink disease: Some interactions. *Acta Horticulture*, **494**: 433-441.
- Portela, E., Martins, A. & Pires, A.L. 1998. *Práticas Culturais de Limitação da Tinta do Castanheiro*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 62 pag.

- Raimundo, F., Martins, A. & Madeira, M. 2007. Influência de diferentes sistemas de mobilização do solo na decomposição de folhas e ouriços de castanheiro. *Revista de Ciências Agrárias*. (em publicação)
- Raimundo, F. 2003. *Sistemas de Mobilização do Solo em Soutos. Influência na Produtividade de Castanha e nas Características Físicas e Químicas do solo*. Dissertação de Doutorado. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- Raimundo, F., Branco, I., Martins, A. & Madeira, M. 2001. Efeito da intensidade de preparação do solo na biomassa radical, regime hídrico, potencial hídrico foliar e produção de castanha de soutos do Nordeste Transmontano. *Revista de Ciências Agrárias*, **24** (3 e 4): 415-423
- Raimundo, F., Madeira, M., Coutinho, J. & Martins, A. 2002. Simulação lisimétrica da gestão da folhada de *Castanea sativa*. Efeito na lixiviação de nutrientes e nas características químicas do solo. *Revista de Ciências Agrárias*, **25** (3 e 4): 101-119.
- Raimundo, F., Madeira, M., Coutinho, J. & Martins, A. 2004. Efeito de sistemas de mobilização do solo na mineralização do N, na biomassa microbiana e na respiração do solo de soutos do Nordeste de Portugal. *Revista de Ciências Agrárias*, **27** (1): 361-375.
- Russel, R.S. 1977. *Plant Root Systems: Their Function and Interaction With the Soil*. McGraw-Hill Book Company Limited, London.
- Shipitalo, M.J., Dick, W.A. & Edwards, W.M. 2000. Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. *Soil Tillage Res.*, **53**: 167-183.
- Smethurst, P.J. & Nambiar, E.S. 1990. Effects of slash and litter management on fluxes of nitrogen and tree growth in a young *Pinus radiata* plantation. *Can. J. For. Res.*, **20**: 1498-1507.
- Tebrügge, F. & Düring, R.-A. 1999. Reducing tillage intensity – a review of results from a long-term study in Germany. *Soil Tillage Res.*, **53**: 15-28.
- Thomas, G.W. 1986. Mineral nutrition and fertilizer placement. In Sprague, M.A. & Triplett, G.B. (eds) *No-tillage and Surface-tillage Agriculture*, pp. 93-116. John Wiley & Sons, New York.
- Unger, P. 1991. Organic matter, nutrient and pH distribution in no- and conventional-tillage in semiarid soils. *Agron. J.*, **86**: 186-189.