

## As plantações de eucalipto e o solo

Manuel Madeira<sup>1</sup>, Nuno Cortez<sup>1</sup>,  
António Azevedo<sup>2</sup>,  
Maria do Carmo Magalhães<sup>3</sup>,  
Carlos Ribeiro<sup>3</sup> e António Fabião<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciências do Ambiente,  
Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.  
E-mail: mavmadeira@isa.utl.pt; nunocortez@isa.utl.pt

<sup>2</sup> Escola Superior Agrária de Santarém.  
E-mail: a\_azevedo@esa-santarem.pt

<sup>3</sup> Departamento de Ciências Exactas e do Ambiente,  
Escola Superior Agrária de Coimbra.  
E-mail: mcsm@mail.esac.pt; cribeiro@mail.esac.pt

<sup>4</sup> Departamento de Engenharia Florestal,  
Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.  
E-mail: afabiao@isa.utl.pt

## I – INTRODUÇÃO

Passaram mais de quinze anos sobre a publicação de “Impactes Ambientais e Sócio-Económicos do Eucaliptal em Portugal” (Alves et al., 1990). No capítulo inerente às interações entre o eucalipto e o solo fez-se então uma explanação genérica sobre os solos dos ecossistemas florestais, apresentou-se uma síntese do que fora divulgado sobre a problemática do eucalipto, enfatizando a informação respeitante à região mediterrânica, e apontaram-se perspectivas e conclusões que variados relatórios disponíveis e os estudos experimentais em curso permitiam tecer sobre o assunto. Desde então aprofundaram-se, entre nós, os estudos sobre as especificidades do sistema eucaliptal. Entretanto, as plantações florestais adquiriram, num contexto mundial, uma importância cada vez maior, emergindo daí um grande interesse sobre as questões relativas ao seu sistema de gestão, como a sustentabilidade da sua produtividade, a conservação e eficiência do uso de recursos naturais, a quantidade e diversidade da vegetação sob coberto e as relativas às mudanças globais, dada a importância que tem sido atribuída aos ecossistemas florestais no sequestro do carbono (Fisher & Binkley, 2000). Como não podia deixar de ser, preocupações semelhantes avolumaram-se entre nós, passando, por isso, muitos estudos a considerar a gestão das plantações de eucalipto; estes estudos ganharam ainda mais actualidade pelo facto da recente Estratégia Florestal Nacional estimular fortemente a utilização dos resíduos de abate dos sistemas florestais para a produção de energia.

Neste contexto, abordam-se de forma mais concisa as questões gerais sobre os solos florestais, clarificam-se os aspectos inerentes à influência do eucalipto sobre as características do solo – considerando a informação de índole geral que tem sido desenvolvida para o mesmo sistema ou outros semelhantes – e dá-se ênfase aos resultados dos estudos desenvolvidos entre nós sobre sistemas de gestão do solo e dos resíduos de abate das plantações de eucalipto.

## 2 – As florestas e o solo

A análise da influência das plantações florestais no solo exige que se tenham em mente os aspectos gerais das relações entre a floresta e o solo. As florestas são ecossistemas em que ocorrem solos com características físicas, químicas e biológicas que se expressam de forma decisiva na contenção dos processos erosivos e no regime hidrológico. Aliás, tem sido usual contrapor a floresta a outros sistemas de uso, como forma de utilização alternativa que contrarie os processos de degradação do solo e, ao mesmo tempo, seja um meio de recuperação das funções ecológicas do mesmo. A floresta tem constituído recurso para a ocupação de áreas não susceptíveis de outras utilizações e, também, para recuperar áreas entretanto submetidas a usos intensivos que conduziram à degradação dos solos.

Considera-se que as florestas naturais ou exploradas através de revoluções longas são decisivas para a formação de camadas orgânicas e para a acumulação de carbono orgânico no solo, o que, aliado à actividade dos sistemas radicais e das componentes biológicas do solo, determina uma agregação e um sistema de porosidade estáveis, condição determinante de elevadas taxas de infiltração e percolação da água no solo. A influência da floresta na redução da intensidade dos processos erosivos, na acumulação de matéria orgânica e no processo de alteração traduz-se por um maior desenvolvimento do perfil do solo, no qual o ciclo biológico de nutrientes se expressa pela acumulação destes nos seus horizontes superficiais.

Nos ecossistemas florestais ocorrem “entradas” e “saídas” de nutrientes. As primeiras estão sobretudo relacionadas com as entradas a partir da atmosfera através da deposição húmida e seca, as quais são variáveis com as regiões geográficas e a intensidade de poluição (Krug & Frink, 1983; Attiwill & Leeper, 1987; Fisher & Binkley, 2000), e as entradas devido à alteração dos minerais primários do solo e do seu material originário (Attiwill & Leeper, 1987; Pritchett & Fisher, 1987; Fisher & Binkley, 2000), cujo fluxo depende da natureza desse material e da respectiva taxa de alteração que, por seu turno, varia com o regime climático (Cronan, 1985;

Folster, 1985); considera-se, ainda, a entrada de azoto da atmosfera por intermédio das bactérias fixadoras de azoto vivendo ou não em simbiose nas raízes das plantas. As saídas de nutrientes, por sua vez, estão sobretudo relacionadas com a lixiviação devido à infiltração e percolação da água no solo e com as perdas devido ao escoamento superficial da água, arrastando nutrientes em solução ou adsorvidos nas partículas transportadas em suspensão, e aos processos erosivos, tanto hídricos como eólicos; acresce ainda mencionar as perdas de azoto (N) por desnitrificação (Pritchett & Fisher, 1987).

Nos ecossistemas florestais onde não há remoção de biomassa, o balanço entre as entradas e as saídas mencionadas determina a acumulação de nutrientes nos horizontes do solo. Este balanço tende geralmente a ser positivo, dependendo o teor de nutrientes no solo das reservas dos mesmos nos minerais primários, do respectivo ciclo biológico e da intensidade de lixiviação. Esse teor controla as características químicas e biológicas do solo, uma vez que está fortemente correlacionado com a acidez ou alcalinidade do mesmo, ou seja, com os respectivos valores de pH. Considera-se, em geral, que as espécies florestais estão adaptadas para suportar condições de baixa disponibilidade de nutrientes no solo, devido ao ciclo biológico destes, tanto externo como interno (Miller, 1989).

Os solos dos ecossistemas naturais apresentam características físicas, químicas e biológicas que são o resultado da interacção entre o clima, o material originário e a vegetação, num determinado contexto de relevo ou paisagístico (Brady & Weil, 1999). A utilização dos ecossistemas florestais como fonte de biomassa altera as condições vigentes nas situações naturais, modificando-se o fluxo das componentes do ciclo biológico de nutrientes consoante a quantidade e componentes de biomassa exportadas. A exportação de nutrientes do sistema é muito menor se apenas o material lenhoso for removido, dado este apresentar menores teores de nutrientes do que as outras componentes da biomassa aérea das árvores (Pritchett & Fisher, 1987; Marques et al., 1997; Fisher & Binkley, 2000). Relata-se, aliás, que as exportações de nutrientes inerentes à extracção do material lenhoso não ultrapassam as entradas anuais devidas à deposição atmosférica e à alteração dos minerais e que apenas nos solos extremamente pobres serão

de temer influências negativas devido a tais exportações (Miller, 1989; Pritchett & Fisher, 1987). Assim, o grau e a frequência de exportação de biomassa são determinantes para a avaliação das perdas do ecossistema, as quais naturalmente poderão ser compensadas recorrendo à fertilização. Porém, a exportação de nutrientes dos ecossistemas florestais não tem qualquer significado quando considerada por si só, sendo necessário ter em conta as características determinantes da resiliência dos diversos solos, mormente a sua disponibilidade em nutrientes e respectiva reserva mineral e a taxa de alteração dos minerais primários para avaliar o impacte dessa exportação (Vejre, 1999).

As plantações florestais para a produção de matéria-prima e biomassa, muitas vezes recorrendo a espécies exóticas, levam necessariamente à intensificação e redução temporal do ciclo de produção, nomeadamente no caso das espécies exploradas em regime de talhadia (Miller, 1989; Fox, 2000). A exploração e remoção de biomassa de tais plantações constituem a principal via de exportação de nutrientes do sistema, porque as árvores são abatidas num período em que a absorção de nutrientes do solo ainda não é compensada pela sua devolução através da folhada e pelas entradas acima referidas (Miller, 1989; Marques et al., 1997). Além disso, são mais frequentes e intensivas as acções correspondentes à preparação do solo para a plantação e à exploração, as quais podem conduzir à redução do teor de matéria orgânica e da disponibilidade de nutrientes no solo (Gent et al., 1984; Merino & Edeso, 1999), bem como à forte modificação de algumas características físicas do mesmo, com efeitos negativos na produtividade (Greacen & Sands, 1980; Werth & Thomas, 1981; Gent et al., 1984). Considera-se, ainda, que, em climas semi-áridos ou com estações secas prolongadas, podem ocorrer processos erosivos devidos às acções de preparação do terreno para a plantação ou às operações de exploração (Poore & Fries, 1985), os quais, porém, dependem do tipo e da aplicação das técnicas de actuação (Gent et al., 1984; Florence, 1986). Assim, o sistema de gestão das plantações florestais é determinante na qualidade do solo – o factor de entre os que afectam a produtividade florestal que é mais facilmente modificado pelos sistemas de gestão – na produtividade do sítio e na sustentabilidade dos ecossistemas florestais de exploração intensiva (Fox, 2000).

### 3 – INFLUÊNCIA DOS EUCALIPTOS NO SOLO

Existe um elevado número de estudos relativos à influência das plantações de eucaliptos sobre as características dos solos, nos países onde estes têm sido introduzidos como exótica de rápido crescimento e explorados em rotações curtas, tal como o Brasil, a Índia, a África do Sul, a Espanha e, obviamente, Portugal. Uma boa parte da informação disponível começou por ser sintetizada em trabalhos de revisão bibliográfica na década de oitenta do século passado (SECT, 1984; Davidson, 1985; Poore & Fries, 1985; Ricardo & Madeira 1985; Florence, 1986; Lima, 1987; Bernaldez et al., 1989). A revisão elaborada por Ricardo & Madeira (1985) considerou a informação sobre vários aspectos da influência dos eucaliptos nos solos da área mediterrânica, a qual era, em muitos casos, pouco precisa e sem possibilidade de extrapolação para as nossas condições ecológicas (Madeira, 1995).

A partir do início da década de oitenta do século passado foi realizado pelo Departamento de Ciências do Ambiente do Instituto Superior de Agronomia, em colaboração com o Departamento de Engenharia Florestal do mesmo Instituto, um vasto leque de estudos no domínio das influências do eucalipto no solo. Os estudos foram efectuados em povoamentos de *Eucalyptus globulus*, em várias rotações, localizados nas áreas do Cercal (Madeira, 1986), Óbidos (Madeira, 1995) e Pegões (Cortez, 1996). Em tais áreas a precipitação média anual varia entre 600 e 800 mm e os solos desenvolvem-se sobre arenitos e correspondem sobretudo a Cambissolos dístricos, Regossolos dístricos e Arenossolos dístricos (WRB, 2006), apresentando as mais das vezes baixo teor em matéria orgânica e em bases extraíveis (Madeira, 1986; Cortez, 1996). Os estudos incidiram nomeadamente sobre o ciclo de nutrientes e seus reflexos nas características do solo, a decomposição da folhada e resíduos de abate e caracterização da matéria orgânica, as características físicas e químicas e a quantidade e tipologia da mesofauna do solo, tendo, frequentemente, como termo de comparação a situação observada em povoamentos de pinheiro (*Pinus pinaster*) e sobreiro (*Quercus suber*), com denso estrato herbáceo e arbustivo e onde há muito não eram efectuadas acções de gestão. Além disso, a influência da disponibilidade de água e nutrientes na produtividade

das plantações de eucalipto e na acumulação de carbono orgânico no solo foi também objecto de estudo na área de Óbidos (Madeira & Pereira, 1990/91), num sítio em que predominam os Arenosolos dístricos (WRB, 2006).

### 3.1 – O EUCALIPTO E OS NUTRIENTES NO SOLO

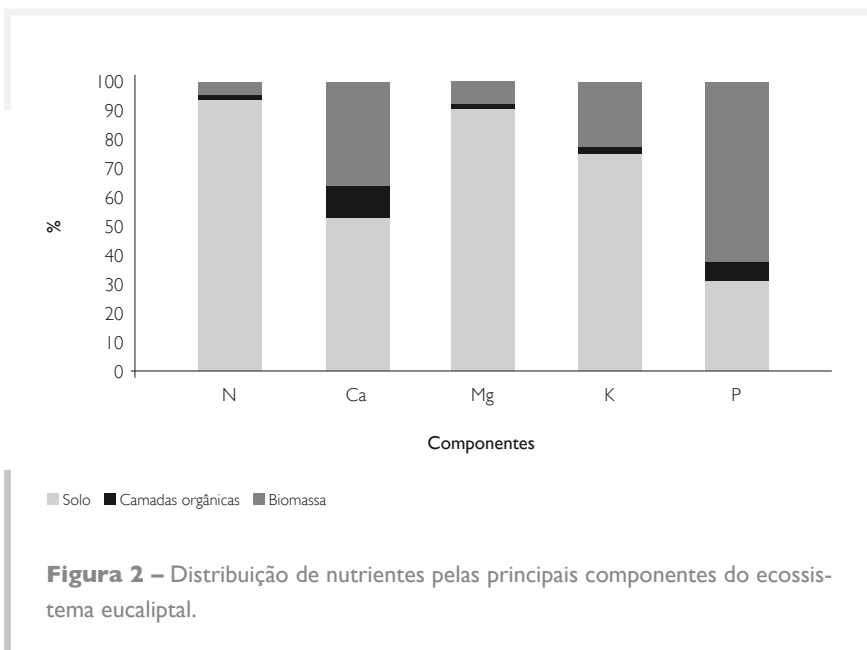
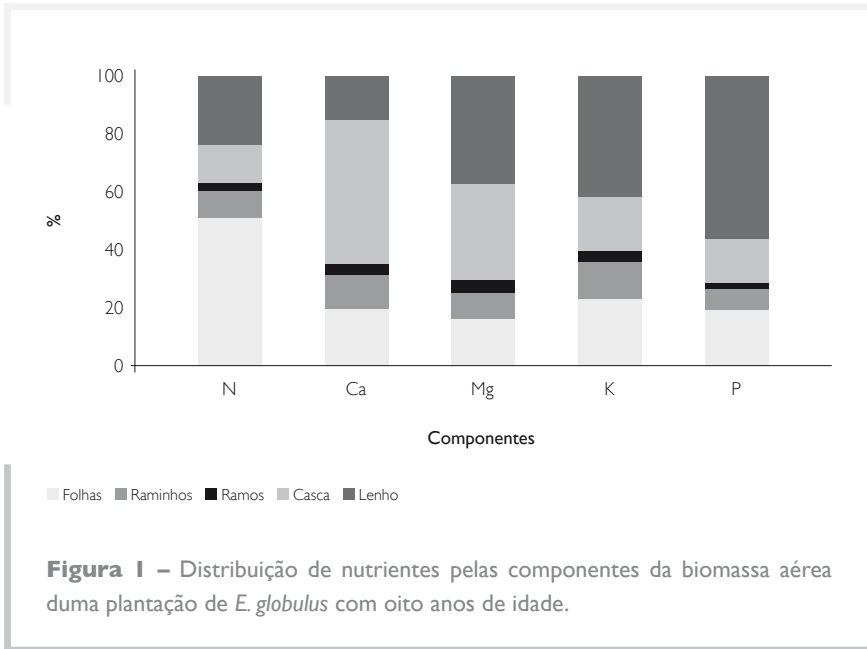
Considera-se que os eucaliptos explorados intensivamente, sobretudo em regime de talhadia, em povoamentos de elevada densidade e em rotações curtas, conduzem a elevada imobilização de nutrientes na biomassa e nos horizontes orgânicos do solo (Poore & Fries, 1985; Florence, 1986; Hopmans et al., 1993), provocando a depleção de nutrientes (sobretudo bases) dos horizontes superficiais do solo (SECT, 1984; Spangenberg et al., 1996), a qual será tanto mais acentuada quanto mais reduzido for o período da rotação e mais intensiva for a remoção de biomassa (Florence, 1986), sobretudo se abranger componentes com elevados teores de nutrientes (Hopmans et al., 1993; Spangenberg et al., 1996). Porém, relata-se que a remoção de biomassa circunscrita ao material lenhoso reduz em larga escala as exportações de nutrientes e não acarreta consequências negativas ao solo (Poore & Fries, 1985; Ricardo & Madeira, 1985; Florence, 1986), como tem sido observado para outras espécies florestais também exploradas intensivamente e em rotações curtas (Pritchett & Fisher; 1987; Marques et al., 1997; Fox, 2000). Considera-se também que os eucaliptos se adaptam em solos com baixo teor de nutrientes, o que é consubstanciado pela numerosa ocorrência de simbioses radicais (micorrizas) e pelo uso de limitada quantidade de nutrientes para a produção de biomassa, em resultado de um eficiente ciclo interno de nutrientes, sobretudo no que toca ao fósforo (P) e ao N (Crane & Raison, 1980; Florence, 1986). Aliás, por isso, os eucaliptos poderão melhorar a qualidade dos solos, especialmente aqueles que ocorrem em áreas degradadas (Davidson, 1985), como se considera para a generalidade das plantações florestais geridas intensivamente (Fox, 2000).

Observou-se nas nossas condições que a imobilização de alguns nutrientes na biomassa aérea da *E. globulus* é bastante elevada, podendo no caso do cálcio (Ca) ultrapassar 700 kg ha<sup>-1</sup> (Madeira, 1986, 1989 e 1995). Esta imobilização deve-se ao elevado teor em Ca das folhas e das cascas da *E. globulus*, o qual é

variável com as características do solo (Pereira & Sardinha, 1984; Cortez, 1996) e quiçá com as particularidades genéticas das árvores de cada povoamento. A imobilização de magnésio (Mg) e potássio (K) é inferior à observada para o Ca, representando em geral baixa proporção em relação às respectivas reservas do solo (Madeira, 1989).

O Ca, assim como outros nutrientes, ocorre em muito maior proporção na biomassa dos resíduos de abate (ramos, cascas, folhas, frutos e inflorescências) do que na do tronco comercial (Figura 1). Assim, a exportação de nutrientes numa plantação de *E. globulus* depende da quantidade e das componentes da biomassa exportadas. Com efeito, se a exportação de biomassa incidir apenas sobre o tronco constitui um cenário bastante diferente daquele em que a totalidade da biomassa é removida do sítio. No primeiro caso, considerando uma plantação de oito anos, a exportação é compensada em grande parte pelos “inputs” devidos à precipitação e à alteração dos minerais primários (Cortez, 1996). Assim, como é geralmente reconhecido (Pritchett & Fisher, 1987), apenas em solos extremamente pobres é de esperar um empobrecimento em nutrientes devido à remoção do tronco. Quando a totalidade da biomassa aérea de uma plantação for removida admite-se, para muitas áreas de Portugal, que a exportação de bases (nomeadamente o Ca), seja bastante inferior aos “inputs” referidos (Cortez, 1996), mas as respectivas consequências deverão ser avaliadas no contexto da distribuição de nutrientes nas principais componentes do ecossistema – como se representa na Figura 2 para uma plantação de *E. globulus* com oito anos de idade (Cortez, 1996) – e da resiliência do solo.

Os horizontes orgânicos constituem outro importante reservatório de nutrientes nos solos das plantações de *E. globulus*, podendo a quantidade de Ca ultrapassar  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  (Madeira, 1995; Cortez, 1996; Jones et al., 1999). As quantidades de Mg, K e P são muito mais baixas, mas no caso do último podem ser da ordem de grandeza da observada nos resíduos de abate. A quantidade de N retida nos horizontes orgânicos pode atingir  $300\text{-}400 \text{ kg ha}^{-1}$  (Jones et al., 1999), mas, ao contrário do que sucede para o Ca, é insignificante relativamente à quantidade existente no solo. Neste contexto, as camadas orgânicas dos solos das plantações



de *E. globulus* não deverão ser removidas, a fim de que o ciclo biológico dos nutrientes seja minimamente perturbado (sobretudo se os resíduos de abate forem removidos do sítio), assim como a protecção da superfície do solo e o regime térmico e hídrico do mesmo. Entretanto enfatiza-se que a aplicação de fertilizantes nas plantações de *E. globulus*, na ausência de resíduos de abate e de camadas orgânicas, leva ao acréscimo do teor de Ca no horizonte superficial e à melhoria da qualidade do solo (Madeira & Pereira, 1990/91); esse efeito pode, aliás, ser obtido com a aplicação de cinza de biomassa que, embora possa ter reduzido efeito no crescimento das árvores, melhora claramente as características químicas do solo (Araújo et al., 2004).

As modificações observadas nas características químicas dos horizontes minerais dos solos no final das várias rotações de plantações de *E. globulus*, estão sobretudo relacionadas com a acumulação de Ca na biomassa aérea e nos horizontes orgânicos (Madeira, 1991 e 1995). No final de rotações de 10 anos, em solos com baixo teor em bases, a quantidade de Ca acumulado pode ser bastante superior à que ocorre no solo, o que acarreta uma forte redução do Ca de troca e, conseqüentemente, o decréscimo do grau de saturação em bases e dos valores do pH do solo e o acréscimo do teor de alumínio (Al) extraível (Madeira, 1991 e 1995; Madeira & Ribeiro, 1995; Cortez, 1996). No entanto, após o abate da plantação, desde que não se exporte a biomassa que contem a maior proporção de nutrientes (resíduos de abate) e não se removam as camadas orgânicas (Figuras 1 e 2), a maior parte da quantidade dos nutrientes temporariamente imobilizados será devolvida ao solo por via do processo de decomposição.

Para além da remoção da biomassa, aponta-se que as acções sobre o solo aquando da preparação do terreno para a plantação e da exploração da biomassa constituem outra causa de depleção de nutrientes das plantações de eucalipto (Poore & Fries, 1985; Florence, 1986). Porém, sublinha-se que tais efeitos não se correlacionam com uma espécie florestal em particular, mas sobretudo com a natureza e intensidade das técnicas utilizadas na instalação e gestão das plantações florestais. Assim, Florence (1986) refere que podem ocorrer perdas de nutrientes devido à perturbação do solo e ao conseqüente estímulo da mineralização

da matéria orgânica, adiantando, ainda, que os cortes rasos são susceptíveis de favorecer a lixiviação de nutrientes, especialmente em solos arenosos. O efeito da perturbação do solo foi avaliado, entre nós, numa plantação experimental de *E. globulus*, onde se observou que a perda de carbono (C) orgânico, N e bases extraíveis (sobretudo Ca) foi muito mais acentuada através da preparação intensiva do solo do que da preparação mais aligeirada (Madeira et al., 1989b; 2002a). Estes resultados confirmam que as acções sobre os solos, durante a plantação e exploração, podem contribuir para afectar negativamente a qualidade do solo e a optimização da produção de biomassa. No mesmo estudo também se constatou, como foi assinalado para outras plantações (Merino & Edeso, 1999), que o decréscimo de bases observado no início se esbateu no final do período da rotação, o que se atribui ao efeito da reposição de nutrientes no sistema pelo processo de alteração (Madeira et al., 2002a).

### 3.2 – A DECOMPOSIÇÃO DA FOLHADA E DOS RESÍDUOS DE ABATE

A taxa anual de decomposição de Olson (k) da folhada de *E. globulus*, particularmente das folhas (-0,29 a -0,42), nas condições climáticas de Portugal, é bastante mais acentuada do que a observada para agulhas de *P. pinaster* (Madeira, 1986; Ribeiro et al., 2002; Ribeiro et al., 2007), podendo ser mais rápida (Serralheiro & Madeira, 1990) ou mais lenta do que a determinada para folhas de *Q. suber* e *Q. rotundifolia* (Sá et al., 2005); em todo o caso a decomposição na fase inicial, em condições semelhantes, é mais rápida do que a observada para as folhas de *Q. suber* (Serralheiro & Madeira, 1990). A taxa anual de decomposição das folhas dos resíduos de abate (folhas verdes) é mais rápida (-0,59) do que a observada para as folhas senescentes (Azevedo, 2000), enquanto a da mistura de folhas e cascas (dos resíduos de abate) foi de -0,27, num sítio distante do litoral (Chamusca), e -0,39 na área de Óbidos, próximo do oceano (Magalhães, 2000). A decomposição dos outros resíduos de abate (raminhos, ramos e cascas), devido à elevada razão C/N, como acontece para outras espécies florestais (Carlyle et al., 1998), é geralmente mais lenta (k entre -0,06 e -0,21) do que a das folhas (Azevedo, 2000; Magalhães, 2000), variando a respectiva

taxa com as condições de humidade e temperatura do sítio. Sublinha-se ainda que a decomposição dos resíduos de abate é mais rápida quando os mesmos são incorporados no solo (Azevedo, 2000; Magalhães, 2000):  $k=-0,89$  para folhas,  $k$  entre  $-0,39$  e  $-0,73$  para folhas e cascas,  $k=-0,43$  para cascas e  $k$  entre  $-0,19$  e  $-0,49$  para ramos e raminhos.

Embora a taxa de decomposição das folhas senescentes de *E. globulus* seja relativamente independente da sua constituição, a dinâmica de libertação de nutrientes está correlacionada com o respectivo teor nas mesmas (Ribeiro et al., 2002). A libertação de nutrientes (N, P e Ca) das folhas verdes acompanha a taxa de perda de peso, enquanto que nas folhas senescentes a libertação tende a ser tanto mais retardada quanto menor for o teor de nutrientes, podendo a respectiva imobilização ocorrer para além de um período de dois anos (Azevedo, 2000). Naturalmente, a libertação de nutrientes dos outros resíduos de abate é mais lenta e observa-se para períodos de vários anos, o que justifica a elevada quantidade de nutrientes observada nas camadas orgânicas. Essa imobilização contribui, aliás, para reduzir substancialmente a lixiviação de N, após o abate dos povoamentos de eucalipto, sobretudo se os resíduos dele decorrentes, nomeadamente os lenhosos, forem incorporados no solo (Gómez-Rey et al., 2007), como foi observado para outras espécies (Carlyle et al., 1998).

As raízes de *E. globulus* com diâmetro até 10 mm decompõem-se a uma taxa semelhante ou menos acentuada (Ribeiro & Madeira, 1994) do que a observada para ramos e cascas incorporados no solo (Azevedo, 2000; Magalhães, 2000). A decomposição das raízes finas (diâmetro inferior a 2 mm), não obstante apresentarem teor de N mais elevado ( $3,3-4,5 \text{ mg g}^{-1}$ ), processa-se mais lentamente ( $k$  entre  $-0,10$  e  $-0,14$ ) do que a das raízes mais grossas ( $k$  entre  $-0,18$  e  $-0,30$ ) (Ribeiro & Madeira, 1994), com um teor de  $2,3-2,8 \text{ mg g}^{-1}$ , o que se atribui sobretudo ao menor teor de celulose nas primeiras do que nas segundas. As raízes mais finas durante a decomposição constituem um reservatório para o N pelo menos durante dois anos, sendo também aquelas em que a libertação de Mg e K foi mais morosa; o P, pelo contrário foi libertado de todas elas a uma taxa superior à da perda de peso. Tais resultados sugerem que a decomposição dos resíduos

radicais de *E. globulus* interfere fortemente na dinâmica de nutrientes no solo das plantações de eucalipto, sobretudo após o abate.

Observou-se experimentalmente que o processo de decomposição das folhas de *E. globulus* não conduziu à acidificação do substrato mineral. De facto, num substrato com baixo teor em bases (arenito), sob a influência de folhas de *E. globulus* em decomposição, observou-se, ao fim de dez anos, um forte aumento da quantidade de Ca de troca e os valores de pH aproximaram-se da neutralidade (Madeira 1986; Madeira & Ribeiro, 1995), o que foi menos nítido com as agulhas de *P. pinaster* e não ocorreu com as folhas de *Q. suber*. Assim, a deposição das folhas de *E. globulus* no solo, após o abate dos povoamentos, contribuirá para repor nos horizontes do mesmo elevada proporção dos nutrientes imobilizados na biomassa, concluindo-se que os efeitos negativos referidos para as características químicas do solo das plantações de *E. globulus* estão sobretudo relacionados com o respectivo sistema de gestão.

### 3.3 – O EUCALIPTO E A MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

A quantidade de C orgânico nas camadas orgânicas das plantações de *E. globulus* é extremamente variável, podendo atingir valores da ordem de 1,50 kg m<sup>-2</sup> (Madeira, 1991). Como este valor é variável com a rotação e o respectivo período, o sistema de instalação e gestão do povoamento e as condições ecológicas do sítio, avaliou-se experimentalmente a acumulação de C nas camadas orgânicas em diferentes condições de disponibilidade de água e de nutrientes (Madeira & Pereira, 1990/91; Madeira et al., 2002b). Ao fim de um período de seis anos, a acumulação de C em condições óptimas de humidade e nutrição (Quadro 1) foi quase dupla (0,48 kg m<sup>-2</sup>) daquela com restrição acentuada de disponibilidade de água e nutrientes (0,28 kg m<sup>-2</sup>); a disponibilidade apenas de água ou de nutrientes não conduziu a resultados diferentes do segundo caso (0,29-0,32 kg m<sup>-2</sup>). Esta diferenciação, semelhante à observada para a produção de folhada (Quadro 1), indica de forma inequívoca que a acumulação de C nas camadas orgânicas do solo depende, por um lado, da produtividade do sítio, isto é, da disponibilidade de água e de nutrientes e, por outro, do sistema de gestão.

**Quadro 1** – Carbono ( $\text{kg m}^{-2}$ ) na folhada (FL), camadas orgânicas (CO), raízes totais (RT) e finas (RF) e camadas minerais do solo até 60 cm de profundidade (SM), e acréscimo ( $\text{kg m}^{-2}$ ) de C no solo (IN), excluindo as raízes, em plantações de *E. globulus* fertilizadas (F), irrigadas (I), irrigadas e fertilizadas (IF) e de controlo (T), com seis anos de idade.

Tratamentos	FL	CO	RT	RF	SM	IN
T	0,58	0,28	1,34	0,70	2,56	0,21
F	0,72	0,29	1,29	0,56	3,12	0,76
I	0,77	0,32	1,52	0,61	2,94	0,59
IF	1,05	0,48	2,21	0,86	3,58	1,21

Os teores de C orgânico nas camadas minerais dos solos dos povoamentos de *E. globulus* eram extremamente variáveis, sendo tanto mais altos como mais baixos relativamente à situação de referência (Madeira, 1986), constituída por povoamentos de *Q. suber* e *P. pinaster* com denso estrato herbáceo e arbustivo. Estes resultados são difíceis de interpretar, dado não haver informação suficiente acerca das características do solo quando as plantações foram instaladas e das práticas de gestão seguidas. Num sistema experimental observou-se que a intensidade de preparação do solo para a instalação das plantações de *E. globulus* pode interferir fortemente no teor de C orgânico do mesmo, visto a preparação mais intensiva (gradagem seguida de lavoura profunda e de nova gradagem) conduzir a menores teores do que uma preparação mais ligeira (apenas gradagem); observou-se, ainda, que a perda respectiva não foi recuperada até ao final da rotação (Madeira et al., 1989b, 2002a). Noutro sistema experimental, em que os Arenossolos são os solos predominantes, observou-se que o acréscimo do teor de C orgânico no solo das plantações de *E. globulus* está sobretudo em correspondência com a elevada disponibilidade de água e de nutrientes (Madeira et al., 2002b), isto é, com o nível de produtividade, como é assinalado para a generalidade das plantações florestais geridas intensivamente (Fox, 2000);

os resultados também sugerem que esse teor tende a ser muito mais elevado nas áreas de mais elevada precipitação do que naquelas em que a mesma é exígua (Quadro 1), seguindo o padrão observado por Ricardo et al. (2002) para a quantidade de C orgânico em solos de Portugal Continental. A elevada disponibilidade de nutrientes, por si só, apenas em pequena escala conduziu a um significativo aumento de C no solo e, no caso da ausência de fertilização, o acréscimo devido às plantações de eucalipto foi mesmo insignificante (Madeira et al., 2002b); estes resultados, porém, devem ser interpretados no âmbito de uma textura (arenosa) pouco favorável à acumulação de C no solo. Os resultados sugerem que na ausência de suplementação de água e de nutrientes, o acréscimo de C orgânico nas camadas minerais do solo é um processo bastante lento, como, aliás, é enfatizado por Fisher & Binkley (2000). O acréscimo de carbono nas condições otimizadas de produtividade está em consonância com a elevada produção e densidade da biomassa radical (Fabião et al., 1990/91) e principalmente com um elevado *turnover* das raízes finas (diâmetro inferior a 2 mm), como foi relatado por Kätterer et al. (1995) e Fabião et al. (1995).

A matéria orgânica dos solos dos povoamentos de *E. globulus* não apresentou características muito diferentes daquelas observadas para a dos solos com *Q. suber* ou com *P. pinaster*, tomados como referência (Madeira, 1986, Madeira et al., 1989a). A diferença mais notória reside na razão C/N que é mais elevada nos solos com *E. globulus* do que naqueles com *Q. suber* e mesmo com *P. pinaster*. Os solos sob *Q. suber* e *E. globulus* apresentaram grau de humificação semelhante, mas a fracção solúvel pelos álcalis (ácidos fúlvicos e húmicos) era bastante mais elevada nos primeiros (42,3%) do que nos segundos (29-32%), acontecendo o inverso com a fracção humina (respectivamente 38% e 41-48%); a razão ácidos fúlvicos/ácidos húmicos, por seu turno, era menor nos solos com *Q. suber* (0,47) do que naqueles com *E. globulus* (0,66-0,72). Os ácidos húmicos dos primeiros apresentaram teor de N mais elevado do que os segundos, diferença essa que se acentuou na fracção humina, a qual apresentou carácter mais alifático e maior proporção de N proteico nos solos sob *E. globulus* (Madeira et al., 1989a).

Existem algumas referências relativas à ocorrência de substâncias hidrófobas que conduziriam a limitações na molhabilidade e na infiltração da água nos solos das plantações de eucalipto. Os resultados observados são muitas vezes contraditórios, sendo de esperar que os efeitos referidos se manifestem sobretudo em áreas de clima árido e em solos com características especiais (Davidson, 1985). Nas nossas condições observou-se que a proporção de lípidos na matéria orgânica de solos com *E. globulus* (11,5%) era ligeiramente maior do que a observada nos solos com *Q. suber* (10,0%) e *P. pinaster* (11,2%) (Quadro 2). De facto, os solos das áreas de *E. globulus* manifestaram hidrofobicidade de forma mais acentuada do que os solos de *Q. suber* e de *P. pinaster* (Quadro 2). Com efeito, nos solos das áreas de *Q. suber*, após contacto com água durante 24 horas e drenagem durante igual período, 64,1% da respectiva porosidade total ficou preenchida com água, enquanto a percentagem nos solos de *P. pinaster* e *E. globulus* foi respectivamente de 26,1 e 24,5%. Estas percentagens subiram para 64,1 e 37,2% após tratamento prévio das amostras com benzeno, enquanto que as tratadas com etanol mostraram valores semelhantes (62,6-63,9%) aos observados para solos de *Q. suber* sem qualquer pré-tratamento.

Embora a decomposição da folhada de *E. globulus* seja bastante rápida, ocorre uma fraca mistura dos resíduos orgânicos com as partículas minerais, aspecto fundamental para adequadas características físicas nos horizontes superficiais do solo (Madeira, 1986). Esta questão não está bem estudada, mas pode supor-se que esteja relacionada com particularidades das componentes biológicas do solo. Num estudo realizado nas áreas já referidas (Cabral & Martins, 1985), foi constatado que a densidade da população de artrópodes do solo não foi significativamente diferente entre a primeira, segunda e terceira rotação de povoamentos de *E. globulus*; essa densidade, todavia, foi mais baixa do que a encontrada para os povoamentos de *P. pinaster*, vegetando em condições similares de solo e de clima. Num outro estudo, Serralheiro & Madeira (1990 e 1994) constataram que a densidade da população de artrópodes foi mais elevada nos horizontes orgânicos dos solos com vegetação autóctone do que no caso dos mesmos horizontes dos solos com uma plantação de *E. globulus* na segunda rotação, enquanto nos horizontes minerais as

diferenças foram pouco acentuadas. Além disso, Gama et al. (1989) concluíram que as populações de colêmbolos dos solos com *E. globulus* são menos ricas em espécies exclusivas e preferenciais do que no caso dos solos com *Q. suber*. Mais recentemente, Sousa et al. (2000) relataram que a instalação de plantações de *E. globulus* conduzem, relativamente a povoamentos de espécies autóctones, ao decréscimo da abundância, número de *taxa* e diversidade das comunidades de colêmbolos; porém, os mesmos autores sublinham que a magnitude das diferenças está fundamentalmente relacionada com as práticas de instalação e de condução das plantações de eucalipto.

### 3.4 – O EUCALIPTO E AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO

Algumas características físicas dos solos de plantações de *E. globulus* diferiram um pouco daquelas determinadas nos povoamentos florestais de referência (*Q. suber* e *P. pinaster*) onde há muito não havia extracção de biomassa e perturbação do solo. Com efeito, observou-se nos solos dos povoamentos de *E. globulus* um acréscimo dos valores da massa volúmica aparente (Quadro 2) e, por consequência, um decréscimo da porosidade total (afectando sobretudo a macroporosidade) e um acréscimo da compacidade (Madeira, 1989). A agregação dos solos das plantações de *E. globulus* também era menos estável do que a dos solos dos sistemas de referência (Quadro 2), dado que o coeficiente de agregação (percentagem de partículas de diâmetro inferior a 0,25 mm em agregados estáveis de diâmetro superior a 0.25 mm), tanto determinado em amostras secas como húmidas, foi cerca de metade do determinado nos solos das áreas de *Q. suber*. As variações mencionadas são comuns para usos mais intensivos do solo (Brady & Weil, 1999) e estão longe de serem acentuadas, dependendo em parte do tipo e intensidade de preparação do solo. Com efeito, Madeira et al. (1989b, 2002a) observaram numa área experimental de eucalipto que a mobilização ligeira do solo reduziu a massa volúmica do horizonte superficial do solo, ao passo que a mobilização profunda e intensiva a aumentou; no entanto, no segundo caso observaram um decréscimo da massa volúmica nas camadas profundas do solo. Essa diferenciação ainda se observou no final da rotação, não obstante o decréscimo desse parâmetro em ambos os casos.

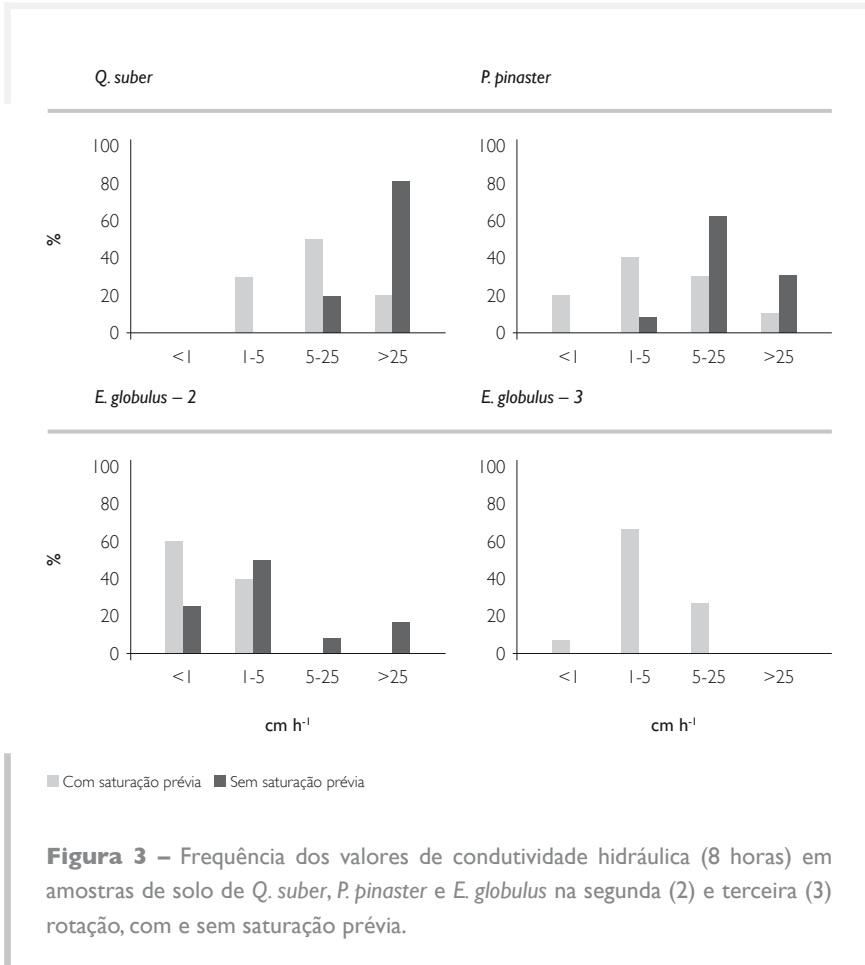
**Quadro 2** – Massa volúmica aparente (MVA), porosidade total (PT), teor de lípidos em relação ao C total, percentagem da PT preenchida com água sem (a) e com tratamento prévio de benzeno (b) e etanol (e), e coeficiente de agregação (CA) de amostras húmidas (h) e secas (s) do horizonte Ah do solo.

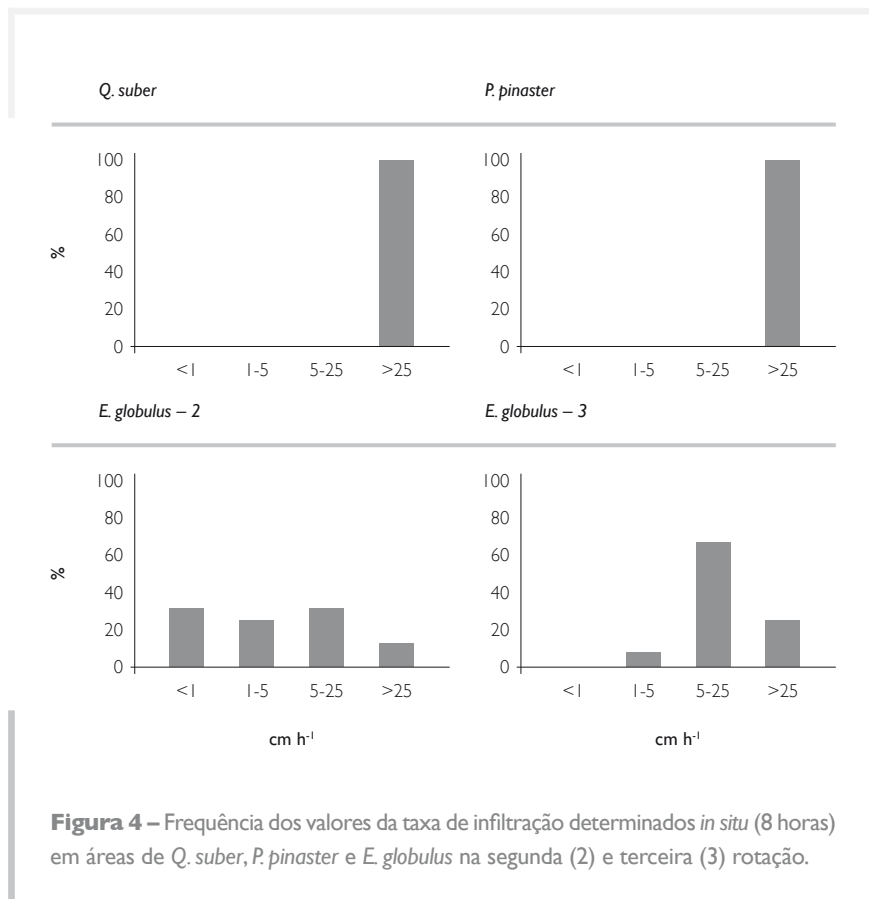
Espécie	MVA	PT		PTa	PTb	PTe	Lípidos	CAh
	g cm <sup>-3</sup>	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	%Ct				%	
<i>Q. suber</i>	1,21	0,57	64,1	64,2	62,8	10,0	48,7	62,7
<i>P. pinaster</i>	1,30	0,51	26,1	64,1	63,9	11,2	—	—
<i>E. globulus</i>	1,38	0,48	24,5	37,2	62,6	11,5	28,8	28,3

A condutividade hidráulica do solo de povoamentos de *E. globulus* foi muito inferior à determinada para solos com *Q. suber* ou *P. pinaster*. As determinações nos solos das plantações de *E. globulus*, sem saturação prévia com água, foram na sua grande parte inferiores a 5 cm h<sup>-1</sup>, enquanto nos povoamentos de *Q. suber* predominaram os valores superiores a esse limite (Figura 3). O mesmo padrão foi observado para amostras previamente saturadas, em que os valores superiores a 25 cm h<sup>-1</sup> foram largamente predominantes nos solos de *Q. suber* ou *P. pinaster*, sendo as diferenças ainda maiores entre as amostras, o que se atribui em parte à menor porosidade total e possivelmente à maior expressão da hidrofobicidade revelada pelos solos das áreas de *E. globulus* (Quadro 2). Padrão semelhante foi observado para a taxa de infiltração da água no solo, determinada no final do Verão, a qual foi superior a 25 cm h<sup>-1</sup> nas áreas de *Q. suber* e *P. pinaster* e exclusiva ou predominantemente inferior no caso de *E. globulus* (Figura 4). Esta diferença, ainda que espectacular, não atinge modificações drásticas nas condições hidrológicas dos solos, visto os valores médios (Madeira, 1989) serem superiores aos da máxima intensidade de precipitação, o que está em consonância com o insignificante escoamento observado em bacias da mesma área (David & Henriques, 1994). Como já foi sublinhado, a taxa de infiltração pode ser fortemente afectada pela perturbação do solo, tendo-se observado numa plantação experimental que a mo-

bilização intensiva do mesmo conduziu ao decréscimo dessa taxa, ao passo que a mobilização ligeira e superficial a aumentou (Madeira et al., 1989b).

As diferenças hidrológicas entre os solos de eucalipto e os de referência atribuem-se também à redução da vegetação herbácea e arbustiva e à consequente redução da actividade da macrofauna, o que é determinante para a ocorrência de bioporos de grande profundidade que são responsáveis pela rápida entrada de água no solo. Aliás, as condições hidrológicas mais favoráveis nos solos do povoamento de eucalipto em terceira rotação do que nos da segunda (Figuras 3 e 4),





sugerem esse efeito por via da maior longevidade do sistema. Essas modificações hidrológicas atenuar-se-ão em áreas com maior precipitação, dado que o acréscimo da própria formação de biomassa das plantações e a ocorrência de estratos herbáceo e arbustivo determinam teores de matéria orgânica elevados, aspecto essencial para a melhoria das condições físicas do solo.

Monitorizou-se o teor de água do solo, durante cerca de dezoito meses, em povoamentos de *E. globulus* e de *Q. suber* com estratos herbáceo e arbustivo (dados não publicados). Durante a época chuvosa (Outubro-Março) o teor de água no solo, até à profundidade de 50 cm, correspondeu em qualquer dos casos

aproximadamente à capacidade de retenção do solo para a água. Durante a época estival (Junho-Agosto) o teor, para ambos os casos, correspondeu ao teor de água mínimo ou seja aproximadamente ao coeficiente de emurchecimento. A diferença essencial ocorreu durante a Primavera, durante a qual se verificou um decréscimo no teor de água do solo muito mais rápido no caso da *E. globulus* do que no do sobreiro, atingindo-se o teor de água mínimo mais cedo no primeiro caso.

Escassa informação existe sobre a erosão “especificamente” atribuída ao eucalipto, quando comparado com outras espécies (Poore & Fries, 1985). Estes autores citam outros que consideram que o eucalipto é pouco eficiente no controlo da erosão, nas áreas semi-áridas e, ao que se depreende, em terreno que não sofreu qualquer armação. Porém, referem que várias espécies de eucalipto plantadas em áreas com declives acentuados, com adequadas medidas de conservação da água, conduzem a elevada produção de biomassa e sem que ocorram processos erosivos. De facto, a observância dos requisitos técnicos da preparação e conservação do solo, a cobertura das copas e da vegetação sob coberto, bem como a protecção do solo pelas camadas orgânicas, como se observa noutras plantações, reduzirão ao mínimo o escoamento superficial e naturalmente a perda de solo.

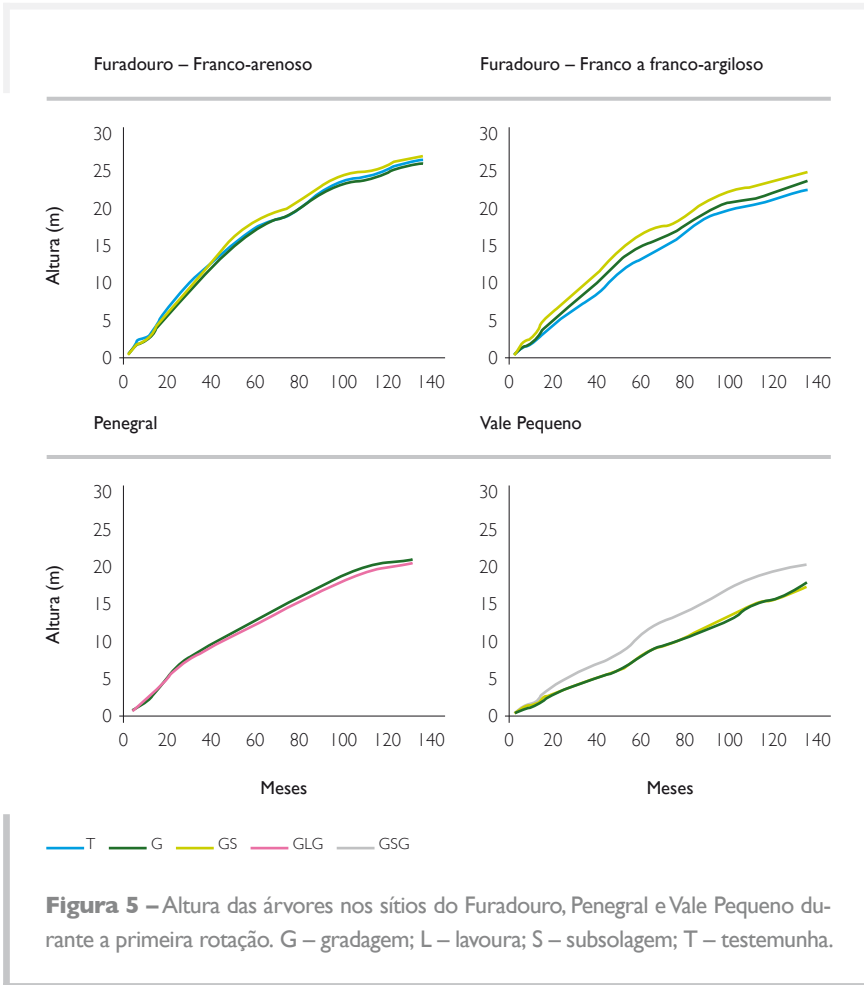
As características observadas nos solos de povoamentos adultos de eucalipto poderão estar fortemente relacionadas com a respectiva intensidade e técnica de preparação, sendo independentes da espécie considerada. Assim, é de prever que quanto menor for a perturbação do solo, menores serão as influências negativas decorrentes da instalação e exploração das plantações intensivas de eucalipto, como sugerem as várias estratégias há muito explanadas por Poore & Fries (1985) e Florence (1986). Entre elas avultam a minimização da remoção de biomassa do sistema, a observância dos procedimentos e técnicas de preparação do solo que minimizem a perturbação do mesmo e a perda de matéria orgânica e de nutrientes, a aplicação de fertilizantes de acordo com a fertilidade do solo, o uso de boas práticas de conservação do solo e da água, e a utilização de material genético com elevada eficiência de uso de nutrientes e outros recursos (Fox, 2000).

## 4 – A GESTÃO DO SOLO E AS PLANTAÇÕES DE EUCALIPTOS

### 4.1 – PREPARAÇÃO DO SOLO E CRESCIMENTO

O sistema de preparação do solo para instalação das plantações de *E. globulus*, em Portugal, tem sido alvo de polémica, ora se enfatizando o benefício da mobilização profunda e intensiva no crescimento das árvores, ora a menor afectação das características do solo pelo recurso à mobilização menos intensiva ou mesmo nula. Porém o problema não é simples nem tem uma resposta única. Neste contexto, comparou-se a preparação ligeira (gradagem, seguida de gradagem de nivelamento) com outra muito mais intensiva (gradagem, seguida de lavoura a 80 cm de profundidade e de gradagem de nivelamento), no sítio do Penegral (Rio Maior), onde a precipitação média anual (PMA) ronda 900 mm e os solos correspondem a Cambissolos e Regossolos dístricos desenvolvidos sobre arenitos do Miocénico (Madeira et al., 1989b; 2002a). A compacidade das camadas profundas do solo decresceu por efeito da preparação intensiva, enquanto a massa volúmica, a porosidade e a compacidade foram mais favoráveis no horizonte superficial no caso da mobilização mais ligeira; não obstante, o crescimento das árvores ao longo da rotação (Figura 5) não apresentou diferenciação significativa entre os tratamentos (Madeira et al., 2002a). Tal facto significa que a melhoria das características físicas da camada superficial do solo foi suficiente para garantir elevado crescimento e, por outro lado, que a redução da compactação das camadas subsuperficiais não se expressou positivamente no crescimento das árvores.

Posteriormente, no sítio da Quinta do Furadouro (Óbidos) – onde a PMA é cerca de 600 mm e os solos são Cambissolos e Regossolos derivados de arenitos do Cretácico – comparou-se a mobilização nula com a gradagem e com a gradagem seguida de subsolagem (Jones et al., 1999; Madeira et al., 2004), distinguindo-se os solos de textura grosseira e com carácter dístrico dos de textura média a fina e carácter êtrico (Magalhães, 2000). Nas áreas de solos de textura mais ligeira o crescimento das árvores não apresentou qualquer diferenciação devido aos tratamentos do solo (Figura 5). Nos solos de textura média a fina o crescimento das árvores foi, por um lado, menos acentuado do que nos de textura ligeira e, por outro, tanto mais acentuado quanto mais profunda a preparação do solo, sendo



**Figura 5** – Altura das árvores nos sítios do Furadouro, Penegral e Vale Pequeno durante a primeira rotação. G – gradagem; L – lavoura; S – subsolagem; T – testemunha.

significativas as diferenças entre tratamentos (Magalhães, 2000). Esta diferenciação entre tratamentos foi paralela com a redução da compactação do solo devido à subsolagem, enquanto no primeiro caso essa redução não foi evidente. Assim, conclui-se que a textura mais fina, sobretudo das camadas mais profundas, deverá criar em tais solos condições de porosidade e compactação menos adequadas ao desenvolvimento do sistema radical das árvores, o que está, aliás, expresso pela menor rapidez de crescimento durante os primeiros anos de estudo.

No sítio de Vale Pequeno (Chamusca) – em que a PMA é de 700 mm e os solos são Luvisolos Háplicos com um típico horizonte argílico, desenvolvidos sobre formações Pliocénicas – comparou-se a gradagem com a gradagem seguida de subsolagem e ainda com a gradagem posterior a estas duas (Jones et al., 1999; Magalhães, 2000). A gradagem levou a um crescimento das árvores significativamente inferior ao que ocorreu nas áreas em que à gradagem se seguiu a subsolagem. Porém, quando a esta subsolagem se seguiu outra gradagem o crescimento foi semelhante ao tratamento em que apenas se efectuou uma gradagem (Figura 5). Neste caso é indubitável que o crescimento das árvores está dependente do rompimento do horizonte argílico, de modo a permitir o acesso das raízes às camadas mais profundas do solo para uso dos recursos aí existentes (Magalhães, 2000), o que se confirmou pela forte redução da compactidade no alinhamento da subsolagem e pela distribuição dos sistemas radicais das árvores. Também resulta claro que uma gradagem em tais solos contribui ainda mais para a compactação e impermeabilização do horizonte argílico do solo.

Os resultados mencionados enfatizam de forma indubitável que o tipo e a intensidade de preparação do terreno são específicos para cada sítio, onde o conhecimento geral das características do perfil do solo e do respectivo material originário são elementos cruciais para a tomada de decisões com vista à optimização da disponibilização de recursos para o crescimento das árvores. Resta acrescentar que a análise do problema não deverá ser meramente biológica, mas também económica.

#### **4.2 – O SISTEMA DE GESTÃO DOS RESÍDUOS DE ABATE**

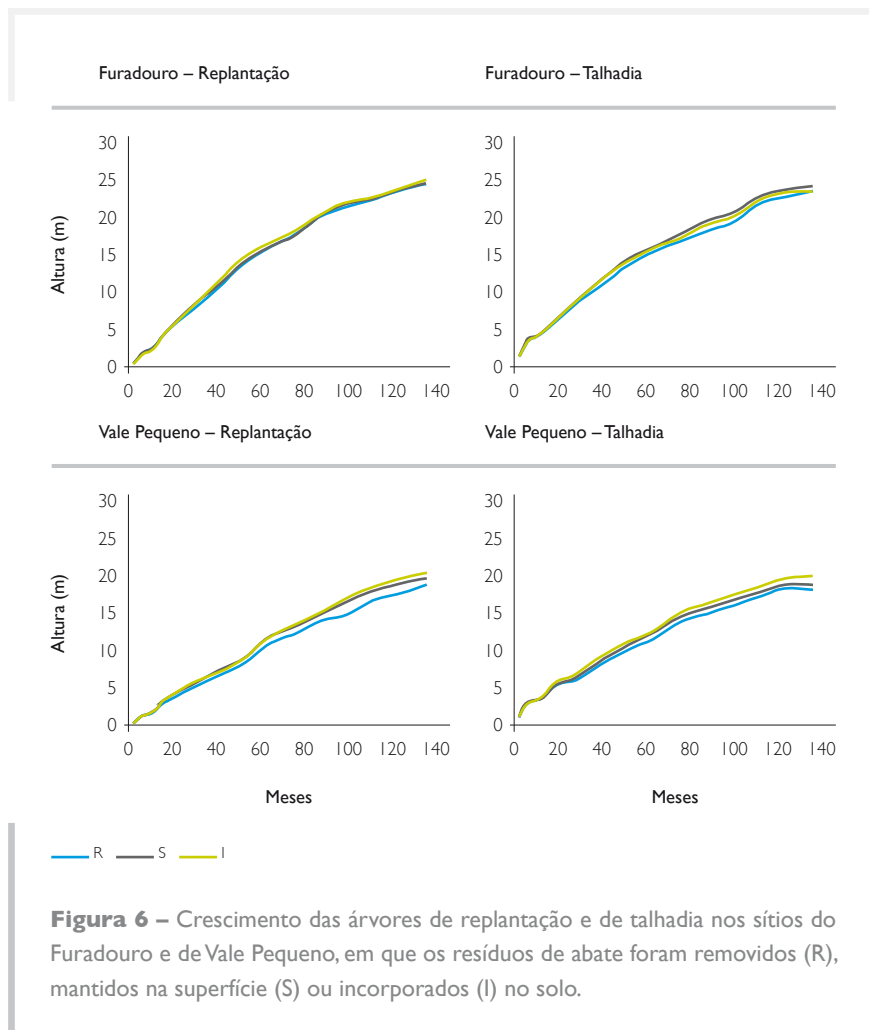
A partir do início da década de noventa foi dada forte ênfase ao estudo das implicações da gestão dos resíduos de abate e das camadas orgânicas do solo na sustentabilidade produtiva das plantações de eucalipto, bem como na qualidade dos recursos disponíveis. Os estudos foram realizados nos já referidos sítios da Quinta do Furadouro e de Vale Pequeno (Jones et al., 1999; Magalhães, 2000; Madeira et al., 2004), tanto em áreas de talhadia (segunda rotação) como de re-

plantação. Os tratamentos principais corresponderam à remoção dos resíduos de abate e das camadas orgânicas (R) e à sua manutenção na superfície (S) ou incorporação no solo (I), considerando-se o crescimento e estado de nutrição das árvores, a acumulação de C orgânico no solo e as características físicas, químicas e biológicas do solo; tais tratamentos foram também reproduzidos em condições controladas, num sistema lisimétrico (Soares et al., 2002). Estudos da mesma índole foram efectuados no sítio de Bairro Miguel (Rio Maior), onde os solos são Arenossolos dístricos desenvolvidos sobre arenitos do Pliocénico (Azevedo, 2000), bem como num sistema lisimétrico (Gómez-Rey et al., 2007), para avaliar a dinâmica da mineralização do N em diferentes cenários de gestão dos resíduos de abate.

#### **4.2.1 – CRESCIMENTO E ESTADO DE NUTRIÇÃO DAS ÁRVORES**

A remoção dos resíduos de abate e das camadas orgânicas não influenciou negativa e significativamente o crescimento das árvores (Figura 6), ao longo da rotação, em qualquer dos sistemas experimentais, tanto nas áreas de talhadia (Madeira et al., 2004) como nas de replantação (Jones et al., 1999; Magalhães, 2000); resultados semelhantes foram observados durante dois anos no estudo lisimétrico, embora as árvores tenham crescido mais no tratamento em que os resíduos orgânicos foram colocados na superfície do solo (Soares et al., 2002). Resultados da mesma índole foram também observados por Azevedo (2000), durante os dois primeiros anos de uma replantação, no sítio de Bairro Miguel.

Do mesmo modo, o teor de N, P e K nas folhas das árvores, ainda que inicialmente afectado de forma negativa (mas não significativa) pela remoção dos resíduos orgânicos (Azevedo, 2000; Soares et al., 2002), não apresentou qualquer diferenciação entre os tratamentos numa fase mais adiantada das plantações, não interferindo com o crescimento das árvores; esta similitude é corroborada pelo facto de não terem sido observadas diferenças significativas dos biotestes radicais com  $^{15}\text{N}$ ,  $^{32}\text{P}$  e  $^{86}\text{Rb}$  entre os tratamentos (Azevedo, 2000). Este comportamento atribui-se, por um lado, ao facto do crescimento das árvores nas nossas condições ambientais depender sobretudo das disponibilidades hídricas (Pereira et al., 1996) e em muito menor medida da disponi-



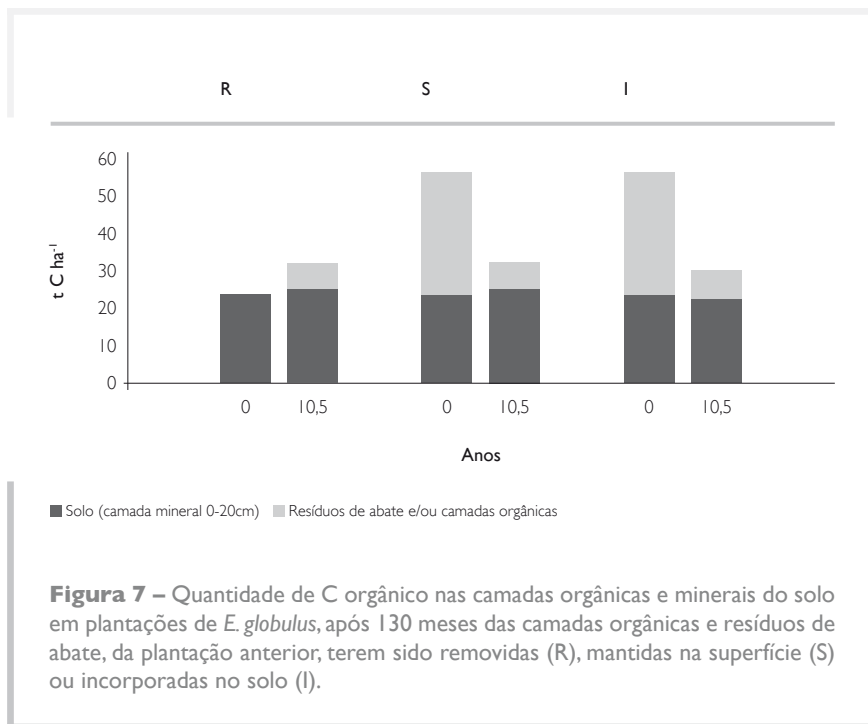
bilidade de nutrientes, e, por outro, à devolução de nutrientes ao solo pela folhada e gotejo e à translocação interna dos mesmos (Cortez, 1996), o que reduz a dependência das árvores das disponibilidades de nutrientes no solo, à medida que a idade das plantações avança.

Estes resultados contrariam outros obtidos no Brasil (Gonçalves et al., 2004), no Congo (Nzilla et al., 2002) e na China (Xu et al., 2004), onde a retenção de

resíduos de abate e das camadas orgânicas nos sítios se expressou por claro acréscimo de crescimento e melhoria do estado de nutrição das árvores. A diferença atribui-se, por um lado, ao facto das condições climáticas desses sítios não limitar, como acontece entre nós, a respectiva produtividade, e, por outro, aos tipos de solos em conformidade com essas condições, muitas vezes bastante exauridos de nutrientes.

#### **4.2.2 – QUANTIDADE DE CARBONO ORGÂNICO**

Os diferentes cenários de gestão dos resíduos orgânicos (resíduos de abate e camadas orgânicas) não tiveram aparentemente influência significativa na diferenciação da quantidade de C orgânico no sistema. Com efeito, no final da rotação, tanto da plantação como da talhadia, a quantidade de C nas camadas orgânicas e minerais do solo era semelhante nos diferentes tratamentos (Figura 7), sugerindo que o sistema apresentou resiliência suficiente para fazer face à remoção dos resíduos orgânicos. Os resultados também sugerem que o C contido nos resíduos foi essencialmente devolvido para a atmosfera sobre a forma de dióxido de carbono. Estes resultados estão em linha com os obtidos, no período de seis anos, num estudo lisimétrico (Gómez-Rey et al., 2007) e com os observados para plantações florestais em geral (Johnson & Todd, 1998; Fisher & Binkley, 2000) e de *E. globulus* em particular (Mendham et al., 2003), em que a remoção ou adição de elevadas quantidades de resíduos orgânicos se têm mostrado insuficientes para provocar variações de vulto na quantidade de C orgânico no solo. O padrão referido está em correspondência com o facto das várias opções de gestão dos resíduos não implicarem diferenças de crescimento das árvores, bem como pelo facto de não se ter procedido à aplicação de fertilizantes (excepto à plantação), factor determinante para aumentar o teor de C no solo (Madeira et al., 2002b). Os resultados também sugerem a possibilidade de utilização de resíduos de abate para produção de energia, desde que o sítio apresente a resiliência suficiente e a adequada reserva mineral, sendo, porém, necessários estudos de longo prazo para enquadrar essa possibilidade no sistema da gestão das plantações de *E. globulus*.



**Figura 7** – Quantidade de C orgânico nas camadas orgânicas e minerais do solo em plantações de *E. globulus*, após 130 meses das camadas orgânicas e resíduos de abate, da plantação anterior, terem sido removidas (R), mantidas na superfície (S) ou incorporadas no solo (I).

#### 4.2.3 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO

Não foi observado em qualquer dos sítios de estudo diferenças significativas entre os vários tratamentos no tocante à massa volúmica aparente do solo; no sítio do Furadouro também não se observaram diferenças significativas quanto ao coeficiente de agregação, à taxa de infiltração da água no solo e à compacidade do horizonte Ah do solo (Magalhães, 2000; Madeira et al., 2004).

A similitude também foi a regra no que respeita às características químicas do solo, pois não se observaram diferenciações significativas entre tratamentos na disponibilidade de bases de troca e de P extraível, nos valores de pH e nos de Al extraível (Magalhães, 2000), bem como na mineralização potencial de N, a qual mostrou um forte predomínio de  $\text{NH}_4^+$  relativamente ao  $\text{NO}_3^-$  (Azevedo, 2000; Madeira et al., 2004). A quantidade de N mineralizado *in situ*, dezoito meses após o abate da plantação anterior, foi um pouco mais elevada no tratamento S do que

no I (Azevedo, 2000), enquanto a lixiviação foi muito mais elevada no primeiro do que no segundo. Este padrão condiz com os resultados de um estudo lisimétrico que reproduziu o efeito da gestão dos resíduos de abate na dinâmica de nutrientes no solo (Gómez-Rey et al., 2007), no qual se observou que a incorporação de resíduos lenhosos no solo contribui para reduzir de forma acentuada as perdas de N por lixiviação, sobretudo nos dois primeiros anos após o abate das plantações de *E. globulus*.

A gestão dos resíduos de abate teve alguns efeitos na mesofauna do solo (Seabra-Ferreira et al., 2001), observando-se que o número de *taxa* e de indivíduos e o índice de diversidade foram superiores no tratamento S do que nos outros, sugerindo a importância dos resíduos de abate e camadas orgânicas para a manutenção, crescimento e reprodução de microartrópodes. Porém, a variabilidade sazonal das condições climáticas é responsável por forte diferenciação temporal desses parâmetros, o que secundariza as diferenças devidas aos tratamentos. A meio da rotação foi também observado que as opções de gestão consideradas para os resíduos de abate não revelaram diferenciação assinalável relativamente à taxa de colonização das ectomicorrizas ou aos carpófagos micorrízicos observados, o mesmo acontecendo quanto ao número de morfotipos (riqueza específica) (Marchante et al., 2001; Marchante, 2002).

### **4.3 – OS EFEITOS DA GRADAGEM E DA FERTILIZAÇÃO**

O efeito da fertilização e da gradagem aplicados durante a primeira rotação foi objecto de estudo e avaliado numa plantação localizada entre Bombarral e Torres Vedras (Casal de Vale de Torres), cujos solos (Regossolos dístricos) derivam de arenitos do Cretácico (Marques, 1997; Praxis, 2001), por intermédio de um sistema experimental que incluiu fertilização (F), gradagem (G), gradagem e fertilização (GF) e um controlo (C).

Observou-se em primeiro lugar que o crescimento e a biomassa radical das árvores não foram significativamente afectados pelos tratamentos. Em segundo, os tratamentos G e GF traduziram-se pela redução drástica das camadas orgânicas, mas a massa destas no final da rotação era da ordem de grandeza

da observada nos outros tratamentos. Em terceiro, a aplicação de fertilizantes (tratamentos F e GF) induziu o acréscimo dos teores de N e de P nas raízes finas, mas sem promover o crescimento das árvores; padrão semelhante ocorreu no tratamento G, o que se atribui à mineralização da matéria orgânica no solo. Porém, nos tratamentos G e GF observou-se uma maior deficiência bioquímica de N e P (biotestes com  $^{15}\text{N}$  e  $^{32}\text{P}$ ), que se atribui à reconstituição do sistema radical injuriado pela gradagem; isto é, a reconstituição deste sistema terá sido o destino do eventual acréscimo dos fotoassimilados devido a uma maior disponibilidade de nutrientes. Sublinha-se que, excepto o decréscimo da massa volúmica do solo na fase inicial do estudo nos tratamentos G e GF, não se observaram, até ao final da rotação, quaisquer outras diferenças entre os tratamentos no tocante às características físicas e químicas do solo; apenas é digna de registo a sucessiva redução de Ca e de Mg no solo ao longo do período de estudo, o que está em linha com a já referida acumulação destes nutrientes na biomassa das árvores e nas camadas orgânicas do solo.

## 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Questiona-se se as plantações de eucalipto reduzem a qualidade do solo e se as respectivas plantações podem ser sustentáveis. A resposta é simultaneamente sim e não. Se por um lado, a gestão intensiva pode criar condições negativas no solo, por outro tem de ser praticada de modo a manter e contribuir para reforçar a qualidade do mesmo. O ponto crucial do problema reside na adopção de sistemas de gestão específicos aos sítios, o que requer conhecimento detalhado da distribuição dos solos na paisagem e das suas características físicas, químicas e biológicas que afectam a produtividade. A percepção dos processos e propriedades que afectam e limitam a produtividade e o reconhecimento de solos susceptíveis a fortes mudanças de gestão permite desenvolver sistemas de gestão adaptados a cada solo, de modo a manter e melhorar a qualidade do mesmo e a produtividade a longo prazo das florestas geridas intensivamente. Neste con-

texto é de extrema importância reconhecer os solos que não são aptos para a gestão intensiva, o que resulta na adopção de um mosaico paisagístico que tanto inclui plantações de gestão intensiva como povoamentos de gestão extensiva ou sistemas de protecção. Para esta atitude é também crucial que a experimentação e investigação estratégica de longo prazo seja salvaguardada e que os recursos humanos actuantes na gestão florestal possuam e adquiram a formação apropriada e actualizada para responder aos complexos desafios da gestão florestal nos seus diversos âmbitos.

**REFERÊNCIAS**

- Alves, A. A. M., Pereira, J. S., Borges, J. G. C., Borges, G. C., Carvalho, P. O., David, J. S., Gonçalves, J. H. C., Madeira, M., Onofre, N. & Valente, F. (1990). *Impactes Ambientais e Sócio-Económicos do Eucaliptal em Portugal*. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Araújo, M. C., Madeira, M., Hilário, L. & Marques, P. (2004). Efeito da aplicação de cinza de biomassa florestal no crescimento de plantas de *E. globulus* e nas características do solo. *Rev. Ciências Agrárias*, **27** (1), 113-126.
- Attiwill, P. M. & Leeper, G. W. (1987). *Forest Soils and Nutrient Cycles*. Melbourne: Melbourne University Press.
- Azevedo, A. A. (2000). *Estudo da Dinâmica do Azoto e do Carbono em Plantações Florestais Intensivas*. Tese de Doutoramento. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Bernaldez, F. G., Perez, R. P. & Levassor, C. (1989). *Effets des plantation d'Eucalyptus dans le Nord d'Espagne*. Bruxelles: Commission des Communautés Européennes.
- Brady, N. C. & Weil, R. R. (1999). *The Nature and Properties of Soils* (Twelfth Edition). New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Cabral, M. T. & Martins, S. C. (1985). Estudo comparativo da fauna do solo de povoamentos de *Eucalyptus globulus* Labill. de várias idades e de *Pinus pinaster* Ait.. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Entomologia*, **3**, 75-84.
- Carlyle, J. C., Bligh, M. W. & Nambiar, E. K. S. (1998). Woody residue management to reduce nitrogen and phosphorus leaching from sandy soil after clear-felling *Pinus radiata* plantations. *Can. J. For. Research*, **28**, 1222-1232.
- Cortez, N. R. (1996). *Compartimentos e Ciclos de Nutrientes em Plantações de Eucalyptus globulus Labill. ssp. globulus e Pinus pinaster Aiton*. Tese de Doutoramento. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Crane, W. J. B. & Raison, R. J. (1980). Removal of phosphorus in logs when harvesting *Eucalyptus delegatensis* and *Pinus radiata* forest on short and long rotations. *Australian Forestry*, **43**, 253-260.
- Cronan, C. S. (1985). Chemical weathering and pollution chemistry in acid forest soils: differential influence of soil type. Biotic processes, and H<sup>+</sup> deposition. In *The Chemistry of Weathering*, ed. J. I. Drever, pp. 175-195. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company.

- David, J. S. & Henriques, M. O. (1994). Clearcutting effects on streamflow in coppiced *Eucalyptus globulus* stands in Portugal. *Journal of Hydrology*, **162**, 143-154.
- Davidson, J. (1985). *Setting aside the idea that Eucalyptus are always bad*. Working paper N° 10. Assistance to the Forestry Sector of Bangladesh (Project BGD/79/017). Roma: FAO.
- Fabião, A., Madeira, M. & Steen, E. (1990/91). Effect of water and nutrient supply on root distribution and root system morphology in an *Eucalyptus globulus* plantation. *Water, Air Soil Poll.*, **54**, 635-640.
- Fabião, A., Madeira, M., Steen, E., Kätterer, T., Ribeiro, C. & Araújo, C. (1995). Development of root biomass in an *Eucalyptus globulus* plantation under different water and nutrients regimes. *Plant and Soil*, **168-169**, 215-223.
- Fisher, R. F. & Binkley, D. (2000). *Ecology and Management of Forest Soils* (Third Edition). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Florence, R. G. (1986). Cultural problems of Eucalyptus as exotics. *Commonwealth Forest Revue*, **65**, 141-163.
- Folster, H. (1985). Proton consumption rates in Holocene and present day weathering of and forest soil. In *The Chemistry of Weathering*, ed. J. I. Drever, pp. 197-209. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company.
- Fox, T. R. (2000). Sustained productivity in intensively managed forest plantations. *For. Ecol. Manag.*, **138**, 187-202.
- Gama, M. M., Santos, A. F. M. & Nogueira, A. (1989). Comparaison de la composition de populations de Collemboles de peuplements d'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) et de Chêne-liège (*Quercus suber*). In *3<sup>rd</sup> International Seminar on Apterygota*, ed. R. Dallai, pp. 339-345. Siena, Italy: University of Siena.
- Gent, J. A., Ballard, R., Hassan, A. E. & Cassel, D. K. (1984). Impact of harvesting and site preparation in physical-properties of Piedmont Forest Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **48**, 173-177.
- Gómez-Rey, M. X., Vasconcelos, E. & Madeira, M. (2007). Lysimetric study of eucalypt residue management effects on N leaching and mineralization. *Ann. For. Science* (no prelo).
- Gonçalves, J. L., Gava, J. L. & Wichert, M. C. P. (2004). Sustainability of wood production in eucalypt plantations of Brazil. In *Site Management and Productivity in Typical Plantation Forests*, ed. E. K. S. Nambiar, J. Ranger, A. Tiarks & T. Toma. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Greacen, E. L. & Sands, R. (1980). Compaction of forest soils – a review. *Austral. J. Soil Res.*, **18** (2), 163-189.

- Hopmans, P., Stewart, H.T.L. & Flinn, D.W. (1993). Impacts of harvesting on nutrients in a eucalypt ecosystem in Southeastern Australia. *For. Ecol. Manag.*, **59**, 29-51.
- Johnson, D.W. & Todd, D. E. (1998). Effects of harvesting intensity on forest productivity and soil carbon storage in a mixed oak forest. In *Management of Carbon Sequestration in Soil*, ed. R. Lal, J. M. Kimble, R. F. Foillet & B.A. Stewart, pp. 351-363. Boca Raton: CRC Press.
- Jones, H. E., Madeira, M., Herraез, L. Dighton, J., Fabião, A., Gonzales-Rio, F., Fernandez-Marcos, M., Gomez, C., Tomé, M., Feith, H., Magalhães, M. C. & Howson, G. (1999). The effect of organic-matter management on the productivity of *Eucalyptus globulus* stands in Spain and Portugal: tree growth and harvest residue decomposition in relation to site and treatment. *For. Ecol. Manag.*, **122**, 73-86.
- Kätterer, T., Fabião, A., Madeira, M., Ribeiro, C. & Steen, E. (1995). Fine-root dynamics, soil moisture and soil carbon content in a *Eucalyptus globulus* plantation under different irrigation and fertilization regimes. *For. Ecol. Manag.*, **74**, 1-12.
- Krug, E. C. & Frink, C. R. (1983). Acid-rain on acid soil – a new perspective. *Science*, **221** (4610), 520-525.
- Lima, W. d. P. (1987). *O Reflorestamento com Eucalipto e seus Impactos Ambientais*. São Paulo: ARTPRESS.
- Madeira, M. (1986). *Influência de Povoamentos de Eucalipto (Eucalyptus globulus) no solo, Comparativamente aos Povoamentos de Sobreiro (Quercus suber) e de Pinheiro (Pinus pinaster)*. Tese de doutoramento. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Madeira, M. (1989). Changes in soil properties under *Eucalyptus* plantations in Portugal. In *Biomass Production by Fast-growing Trees*, ed. J. S. Pereira & J. J. Landsberg, pp. 81-89. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Madeira, M. (1991). Influence of mineral nutrients redistribution in *Eucalyptus* plantations on soil properties. In *Diversity of Environmental Biogeochemistry*, ed. J. Berthelin, pp. 485-494. *Developments in Geochemistry*, 6. Amsterdam: Elsevier.
- Madeira, M. (1995). Efeito das plantações de *Eucalyptus globulus* nas características do solo em condições mediterrânicas (Portugal). *Revista Florestal*, **8** (1), 3-22.
- Madeira, M., Andreux, F. & Portal, J.M. (1989a). Changes in soil organic matter characteristics due to reforestation with *Eucalyptus globulus* Labill. *The Science of the Total Environment*, **81/82**, 481-488.

- Madeira, M., Azevedo, A., Soares, P., Tomé, M. & Araújo, M. C. (2002a). Efeitos da lavoura profunda e da gradagem nas características do solo e na produtividade de plantações de *Eucalyptus globulus*. *Rev. Ciências Agrárias*, **25** (1,2), 158-169.
- Madeira, M., Fabião, A., Pereira, J. S., Araújo, M. C. & Ribeiro, C. (2002b). Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globulus* Labill. plantations induced by different water and nutrient availability. *For. Ecol. Manag.*, **171**, 75-85.
- Madeira, M., Magalhães, M. C., Azevedo, A., Fabião, A., Araújo, M. C. & Pina, J. P. (2004). Efeito da gestão dos resíduos de abate nas características do solo e no crescimento de uma plantação de *Eucalyptus globulus*, em talhadia. *Rev. Ciências Agrárias*, **27** (1), 414-431.
- Madeira, M., Melo, G., Alexandre, C. & Steen, E. (1989b). 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. & Ribeiro, C. (1995). Influence of leaf litter type on the chemical evolution of a soil parent material (sandstone). *Biogeochemistry*, **29**, 43-58.
- Madeira, M. V. & Pereira, J. S. (1990/91). Productivity, nutrient immobilization and soil chemical properties in an *Eucalyptus globulus* plantation under different irrigation and fertilization regimes. *Water Air and Soil Pollution*, **54**, 621-634.
- Magalhães, M. C. S. (2000). *Efeitos de Técnicas de Preparação do Solo e Gestão dos Resíduos Orgânicos em Características Físico-Químicas do Solo de Plantações Florestais*. Dissertação de Doutoramento. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Marchante, E. (2002). *Avaliação da Colonização Ectomicorrízica em Plantações de Eucalyptus globulus Labill. Sujeitas a Tratamentos de Gestão de Resíduos Orgânicos e Fertilização*. Dissertação de Mestrado em Biologia. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Marchante, E., Madeira, M. & Freitas, H. (2001). Avaliação da colonização ectomicorrízica em plantações experimentais. *Rev. Ciências Agrárias*, **24** (3,4), 205-212.
- Marques, P. P. (1997). *Gradagem e Fertilização num Povoamento de Eucalyptus globulus Labill. Efeitos a Curto Prazo*. Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Florestal. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Marques, R., Ranger, J., Villette, S. & Granier, A. (1997). Nutrient dynamics in a chronosequence of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) stands on the Beaujolais Mounts (France). 2. Quantitative approach. *For. Ecol. Manag.*, **92**, 167-197.

- Mendham, D. S., O'Connell, A. M., Grove, T. S. & Rance, S. J. (2003). Residue management effects on soil carbon and nutrient contents and growth of second rotation eucalyptus. *For. Ecol. Manag.*, **181**, 357-372.
- Merino A. & Edeso, J. M. (1999) Soil fertility rehabilitation in young *Pinus radiata* D. Don. plantations from northern Spain after intensive site preparation. *For. Ecol. Manag.*, **116** (1-3), 83-91.
- Miller, H. G. (1989). Internal and external cycling of nutrients in forest stands. In *Biomass Production by Fast-growing Trees*, ed. J. S. Pereira & J. J. Landsberg, pp. 73-80. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Nzila, J. D., Bouillet, J.-P., Laclau, J.-P. & Ranger, J. (2002). The effects of slash management on nutrient cycling and tree growth in Eucalyptus plantations in the Congo. *For. Ecol. Manag.*, **171**, 209-221.
- Pereira, H. & Sardinha, R. (1984). Utilization of *Eucalyptus globulus* Labill. for energy and fibre. Biomass production and nutrient removal assessment. In *Bioenergy – Volume II*, ed. E. Egnéus & A. Ellegard, pp. 119-126. London: Elsevier Applied Science Publishers.
- Pereira, J. S., Tomé, M., Madeira, M., Oliveira, A. & Almeida, M. H. (1996). Eucalypt plantations in Portugal. In *Nutrition of the Eucalypts*, ed. P. M. Attiwill & M. A. Adams, pp. 371-387. Austrália: CSIRO.
- Poore, D. & Fries, C. (1985). *The Ecological Effects of Eucalyptus*. FAO Forestry Paper 59. Rome: FAO.
- Praxis XXI (2001). Relatório Final do Projecto 3/3.2/FLOR/2123/95 (Preparação do solo e gestão da matéria orgânica para a produtividade, sustentabilidade e biodiversidade dos sistemas florestais). Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Pritchett, W. L. & Fisher, R. F. (1987). *Properties and Management of Forest Soils* (2<sup>nd</sup> Edition). New York: John Wiley & Sons.
- Ribeiro, C., Cortez, N., Martins, A., Azevedo, A. & Madeira, M. (2007). Decomposição de agulhas de *Pinus pinaster* e de folhas de *Eucalyptus globulus* em regiões do interior e do litoral de Portugal. *Rev. Ciências Agrárias*, 142-156. (no prelo).
- Ribeiro, C. & Madeira, M. (1994). Root decomposition process in Mediterranean conditions. *Transactions of the 15<sup>th</sup> World Congress of Soil Science*. Vol. 4b, pp. 102-103. Commission III: Poster sessions. Acapulco, Mexico: ISSS/MSSS.
- Ribeiro, C., Madeira, M. & Araújo, M. C. (2002). Decomposition and nutrient release from leaf litter

- of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes. *For. Ecol. Manag.*, **171**, 31-41.
- Ricardo, R. P. & Madeira, M. (1985). *Relações Solo-Eucalipto*. Lisboa: Gabinete de Apoio da Universidade Técnica de Lisboa.
- Ricardo, R. P., Madeira, M. & Raposo, J. (2002). Quantidade de carbono orgânico nos solos derivados de granitos e rochas afins, em Portugal. *Rev. Ciências Agrárias*, **25** (3,4), 94-106.
- Sá, C., Madeira, M. & Gazarini, L. (2005). Produção e decomposição de folhas da folhada de *Quercus suber* L. e *Q. rotundifolia* Lam.. *Rev. Ciências Agrárias*, **28** (2), 257-272.
- Seabra-Ferreira, C., Vasconcelos, T. M. & Madeira, M. (2001). Estudo das comunidades de artrópodes edáficos de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labill.). *Rev. Ciências Agrárias*, **24** (3,4), 257-270.
- Secretaria de Educação da Ciência e Tecnologia (SECT). (1984). *Avaliação das Alterações das Propriedades Físicas, Químicas e Microbiológicas do Solo pela Cultura de Eucalyptus spp.* Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais.
- Serralheiro, F. & Madeira, M. (1990). Changes in arthropod soil fauna due to afforestation with *Eucalyptus globulus* Labill. *Agrochemistry and Soil Science*, **39** (3-4), 602-606.
- Serralheiro, F. & Madeira, M. (1994). Soil mesofauna of *Eucalyptus globulus* plantation in Portugal in comparison to native vegetation stands. In *Eucalyptus for Biomass Production. The State-of-the-Art*, ed. J. S. Pereira & H. Pereira, pp. 262-279. Brussels: Commission of the European Communities.
- Soares, H., Madeira, M., Fabião, A., Azevedo, A., Kätterer, T., Abreu, F. & Cortez, N. (2002). Efeitos da gestão de resíduos de abate no crescimento inicial de *Eucalyptus globulus* Labill.: resultados de um estudo lisimétrico. *Rev. Ciências Agrárias*, **25** (3,4), 394-410.
- Sousa, J. P., Gama, M. M., Ferreira, C. S. & Barrocas, H. (2000). Effect of eucalyptus plantations on Collembola communities in Portugal: a review. *Belgian Journal of Entomology*, **2**, 187-201.
- Spangenberg, A., Grimm, U., Silva, J. R. S. & Folster, H. (1996). Nutrient store and export rates of *Eucalyptus globulus* plantations in eastern Amazonia (Jari). *For. Ecol. Manag.*, **80**, 225-234.
- Vejre, H. (1999). Stability of Norway spruce plantations in western Denmark-soil nutrient aspects. *For. Ecol. Manag.*, **144**, 45-54.
- Wert, S. & Thomas, B. R. (1981). Effects of skid roads on diameter, height and volume growth in Douglas-fir. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **45**, 629-632.

WRB (2006). *World Reference Base for Soil Resources 2006* (2<sup>nd</sup> edition). World Soil Resources Reports No. 103. Rome: FAO.

Xu, D. P., Yang, Z. J. & Zhang, N. N. (2004). Effects of site management on tree growth and soil properties of a second-rotation plantation of *Eucalyptus urophylla* in Guangdong province, China. In *Site Management and Productivity in Typical Plantation Forests*, ed. E. K. S. Nambiar, J. Ranger, A. Tiarks & T. Toma. Bogor, Indonesia: CIFOR.

---