

# **SISTEMAS DE USO DA TERRA E GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RECURSOS**



# A folhada de quatro povoamentos florestais no Norte de Portugal: Produção e concentração e quantidade de nutrientes devolvidos ao solo

## Litterfall in four forest stands of Northern Portugal: Production, nutrient concentration and amounts returned to the forest floor

A. Martins<sup>1</sup>, J. Coutinho<sup>1</sup>, S. Costa<sup>1</sup>, F. Fonseca<sup>3</sup> & M. Madeira<sup>3</sup>

### RESUMO

Quantificou-se a produção mensal de folhada, a sua concentração em nutrientes e a quantidade dos mesmos devolvidos anualmente ao solo, em povoamentos florestais de *Castanea sativa* Miller (*CS*), *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel), Franco var. *menziesii* (*PM*), *Pinus nigra* Arnold subsp. *laricio* (*PN*) e *Pinus pinaster* Aiton, (*PP*), localizados no Norte de Portugal, próximo de Vila Pouca de Aguiar. A média anual de folhada produzida nos dois anos de estudo foi de 6910, 4115, 3934 e 2759 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente para *PN*, *PP*, *PM* e *CS*, com fortes diferenças entre o primeiro e o segundo ano, que se atribui a acentuadas diferenças nas respectivas condições climáticas. As resinosas produziram folhada ao longo do ano, com maior abundância em Agosto e Setembro (*PP*) ou em Setembro e Outubro (*PN* e *PM*); no caso da *CS*, a queda de folhada e observou-se sobretudo em Outubro e Novembro. As folhas e agulhas constituem a componente

mais importante da folhada, com percentagens de 83, 78, 68 e 55 %, respectivamente em *PM*, *CS*, *PP* e *PN*. A concentração de N foi mais elevada nas folhas de *CS* e agulhas de *PM*, respectivamente 11,3 e 10,9 g kg<sup>-1</sup>, contra 7,3 e 5,5 g kg<sup>-1</sup> nas agulhas de *PN* e *PP*. Destaca-se o maior teor de Ca na espécie *PM* (9,4 g kg<sup>-1</sup>) do que nas outras espécies, o que acarreta uma maior devolução ao solo na primeira (34,5 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) do que nas segundas (9,3 a 14,4 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), com reflexo nas características químicas da camada superficial do solo, sobretudo um maior decréscimo da acidez do solo sob a *PM* do que sob as *PP* e *PN*.

### ABSTRACT

Monthly litterfall production, nutrient concentration and nutrient devolution to the forest floor through litterfall were assessed in four forest stands of *Castanea sativa* Miller (*CS*), *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel), Franco var. *menziesii* (*PM*),

<sup>1</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), Departamento de Edafologia, Apartado 1013, 5000-911 VILA REAL Tel: 259350209; Fax: 259350280; e-mail: [amartins@utad.pt](mailto:amartins@utad.pt);

<sup>2</sup> Escola Superior Agrária de Bragança, Campus de Sta Apolónia, Apart. 172, 5301-855 BRAGANÇA

<sup>3</sup> Instituto Superior de Agronomia, Departamento de Ciências do Ambiente, Tapada da Ajuda 1349-017 LISBOA

*Pinus nigra* Arnold subsp. *laricio* (*PN*) and *Pinus pinaster* Aiton, (*PP*), located close to Vila Pouca de Aguiar, Northern Portugal. Mean annual amounts of litterfall measured during two years decreased in the order  $PN > PP > PM > CS$  respectively, 6910, 4115, 3934 and 2759 kg ha<sup>-1</sup>. Values showed high inter-annual variation, which can be ascribed to the different climatic conditions during the study period. Coniferous species showed a continuous litterfall production, with higher amounts in August and September for *PP*, September and October for *PN* and *PM*. In the case of the *CS*, there was not litterfall production during part of the year and the highest amounts were observed in October and November. Concerning the proportion of the several components in the litterfall, needles and leaves were largely predominant in the following order  $PM > CS > PP > PN$ , respectively 83, 78, 68 and 55 %. Concentration of nitrogen in the leaves of *CS* and needles of *PM* was higher (respectively 11.3 and 10.9 g kg<sup>-1</sup>) than in *PN* and *PP* needles (respectively 7,3 and 5,5 g kg<sup>-1</sup>). Concentration of Ca in *PM* (9,4 g kg<sup>-1</sup>) was also higher than in the other species, implying an higher amount of Ca returned to the forest floor (34.5 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) in the former than in the other species (9.3 to 14.4 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>), which positively favour soil surface layer chemical properties in stands of the first species.

## INTRODUÇÃO

A produção e a qualidade de folhada em sistemas florestais tem uma importância reconhecida na acumulação e no tipo de matéria orgânica no solo e no ciclo de nutrientes, com reflexos nas propriedades do solo, na pedogénese e na produtividade

e sustentabilidade dos sistemas (Fisher & Binkley, 2000). Os nutrientes absorvidos anualmente pela maioria das espécies florestais são em grande parte devolvidos ao solo através da folhada, o que confere a esta um papel fundamental no ciclo de nutrientes e na nutrição e funcionamento destes sistemas, em particular em solos de baixa fertilidade, conforme reconhecido desde os primeiros trabalhos sobre sistemas florestais e salientado por diferentes autores que têm desenvolvido estudos nesta matéria (Pritchett & Fischer, 1987; Fischer & Binkley, 2000; Murias, 2005).

O fluxo de nutrientes para o solo é condicionado pela quantidade de folhada e pela taxa de libertação de nutrientes dos resíduos da mesma (Miller *et al.*, 1996; Fisher & Binkley, 2000). Esta taxa está intimamente relacionada com a actividade biológica que, de entre vários factores, depende das condições climáticas, da composição química e estrutural da folhada e da disponibilidade de nutrientes. Para condições climáticas semelhantes atribui-se um papel fundamental à quantidade e natureza da folhada na formação das camadas orgânicas do solo e na transferência de energia entre plantas e solo, em sistemas florestais (Miller *et al.*, 1996; Santa-Regina & Gallardo, 1995; Santa-Regina, 2001; Murias, 2005). Aliás, segundo Binkley (1986) mais de metade da quantidade de nutrientes transferida anualmente do solo para a biomassa dos sistemas florestais é devolvida ao mesmo através da folhada e das raízes, constituindo a sua posterior reciclagem a principal fonte dos nutrientes disponíveis.

É pois fundamental obter informação sobre a produção e características da folhada e a quantidade de nutrientes devolvidos ao solo em povoamentos florestais, bem como sobre a acumulação

dos mesmos nas camadas orgânicas do solo, nomeadamente quando se trata de espécies exóticas exploradas intensivamente e com elevado potencial de depleção de nutrientes do solo (Pritchett & Fisher, 1987). Nestas circunstâncias, dada a inexistência de informação dessa índole para a Região Norte de Portugal, desenvolveu-se um estudo contemplando povoamentos de duas espécies nativas (*Castanea sativa* Miller e *Pinus pinaster* Aiton) e duas espécies exóticas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel), Franco var. *menziesii* e *Pinus nigra* Arnold subsp. *laricio*). Resultados preliminares inerentes a estes povoamentos, incidindo sobre a decomposição de folhas e agulhas e sobre as características das camadas orgânicas e minerais do solo, foram já objecto de publicação (Azevedo, 1997; Fonseca, 1997; Fonseca & Martins, 1999).

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em povoamentos adultos de *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel), Franco var. *menziesii* (*PM*), de *Pinus nigra* Arnold subsp. *laricio* (*PN*), de *Pinus pinaster* Aiton, (*PP*) e num povoamento jovem de *Castanea sativa* Miller (*CS*), cujas características se apresentam no Quadro 1. Os quatro povoamentos foram instalados em 1938, em idênticas condições de clima, relevo e solo. Os povoamen-

tos de *PM*, *PN* e *PP* foram conduzidos em alto fuste, enquanto o de *CS* foi submetido a um corte raso em 1980 e convertido a partir daí em talhadia, tendo pois 15 anos de idade em 1995, data de início do presente estudo. Destaca-se assim as diferenças de idade entre os povoamentos de *PM*, *PN* e *PP* e o de *CS*. São também evidentes as diferenças nas características dendrométricas das árvores, com menores dimensões em altura e diâmetro em *PP* e aumentando para *PN* e *PM*, com reflexos na densidade de árvores por área.

Os povoamentos situam-se na Serra da Padrela (longitude entre 7° 36' 43'' e 7° 38' 29'' W, latitude entre 41° 29' 24'' e 41° 30' 38'' N), próximo de Vila Pouca de Aguiar, a uma altitude entre 800 m (*PP*) e 900 m (*CS*), numa área com relevo geral acidentado, ocorrendo todos eles em situação de encosta, com declive variável entre o mínimo de 10 % em *PN* e o máximo de 40 % em *PM* e exposição variável entre W (*PP*) e NW (*CS*, *PM*, *PN*).

Segundo dados do INMG (1970), a temperatura média anual da área de estudo é de 11,3 °C; a temperatura média do mês mais frio (Janeiro) de 4 °C e a temperatura média do mês mais quente (Agosto) de 21,9 °C. Por seu turno, a precipitação média anual é de 1381 mm. Com base nos dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos

QUADRO 1 - Características dos povoamentos das espécies estudadas

Espécies	Área (m <sup>2</sup> )	Densidade (árvores ha <sup>-1</sup> )	Idade (anos)	Altura dominante (m)	DAP (cm)
<i>P pinaster</i>	7500	988	56	16,2	25,4
<i>P nigra</i>	87000	475	57	22,8	34,3
<i>P menziesii</i>	29800	313	57	34,8	46,8
<i>C sativa</i> *	14100	1438	15	13,3	14,7

QUADRO 2 - Precipitação mensal (mm) de Agosto de 1994 a Julho de 1997

Ano	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Total
<b>1994/95</b>	35,6	84,5	138,5	130,5	215	120,5	58,7	38,5	84,5	33,5	10,5	12,0	<b>962</b>
<b>1995/96</b>	48,2	90,5	262,5	286,5	476,0	106,0	106,0	34,5	111,0	9,3	14,5	4,8	<b>1550</b>
<b>1996/97</b>	92,0	66,0	206,5	209,5	201,0	32,5	2,0	30,8	147,0	36,0	35,5	20,0	<b>1079</b>

Hídricos, Instituto Nacional da Água (<http://snirh.inag.pt>), organizaram-se os dados do período coincidente com a colheita de folhada (Agosto a Julho) dos anos 1994/95, 1995/96 e 1996/97, que constam do Quadro 2, podendo observar-se que o período entre Agosto de 1994 e Julho de 1995 foi bastante menos chuvoso do que o período entre Agosto de 1995 e Julho de 1996.

Os solos da área de estudo derivam de xistos e correspondem às unidades *Umbrissolos húmicos*, no caso dos povoamentos de *PM* e *CS*, *Umbrissolos háplicos* no caso do de *PN* e *Cambissolos dístricos*, no caso do de *PP* (FAO, 1998). No Quadro 3 apresentam-se características relativas ao perfil médio do solo dos povoamentos considerados, a partir dos resultados de quatro perfis observados e amostrados em cada um deles (Fonseca, 1997). Observa-se que se trata de solos ácidos, com textura franca a franco-arenosa, com teor de C orgânico geralmente elevado nas duas primeiras camadas consideradas, com excepção do subcoberto de *PP*, onde os teores são médios. Em qualquer dos povoamentos os solos apresentavam teor muito baixo em P extraível, enquanto o de K extraível se pode considerar elevado. O complexo de troca da camada superficial caracterizava-se por concentrações mais altas de bases no caso da espécie *PM* do que no das espécies *CS*, *PP* e *PN*, mostrando um nítido enriquecimento em Ca e Mg, com o consequente aumento do grau de saturação em bases (em relação à capacidade de troca efectiva). Além disso, o teor de Ca e Mg de

troca também era mais elevado no solo do povoamento de *CS* do que no dos de *PN* e *PP*. Nas camadas sub-superficiais as concentrações das bases eram, em todos os casos, muito baixas, o que reflecte o efeito da elevada pluviosidade da área de estudo (Metson, 1956).

A amostragem de folhada foi efectuada mensalmente entre Agosto de 1995 e Julho de 1997, em 10 receptáculos circulares com 1 m<sup>2</sup> de diâmetro, distribuídos aleatoriamente em cada povoamento, numa área aproximada de 1 ha. As camadas orgânicas amostraram-se em 15 microparcelas por povoamento, distribuídas aleatoriamente, com uma área de 0,5 m<sup>2</sup>. Em cada uma dessas microparcelas recolheu-se o material correspondente aos resíduos orgânicos intactos (camada L), aos resíduos orgânicos em estado de composição intermédio (camada F) e aos com elevada grau de humificação e misturados com a matéria mineral (camada H), separadas por observação macroscópica.

A folhada colhida foi seca em estufa a 65 °C, separada em folhas/agulhas, pinhas/ouríços, castanha, órgãos reprodutores, casca e outros (musgos e líquenes). O material colhido em cada camada orgânica foi seco em estufa a 65 °C e pesado para quantificação da massa correspondente, após o que as 15 amostras de cada camada de cada povoamento foram agrupadas três a três, originando 5 amostras compostas por camada e povoamento.

Posteriormente, os componentes da folhada e o material das camadas orgânicas foram analisados para determinação

**QUADRO 3 - Granulometria, valor de pH, teores de C orgânico, de bases de troca, de acidez titulável (AT) e de P e K extraíveis, e grau de saturação em bases (GSB) dos solos dos quatro povoamentos objecto de estudo. Valores a partir de 4 perfis por povoamento (Fonseca, 1997)**

Prof cm	AG -----g kg <sup>-1</sup> -----	AF -----g kg <sup>-1</sup> -----	LI -----g kg <sup>-1</sup> -----	AG -----g kg <sup>-1</sup> -----	pH H <sub>2</sub> O	C Org g kg <sup>-1</sup>	Ca	Mg	K	Na	AT -----cmolc kg <sup>-1</sup> -----	GSB	P mg kg <sup>-1</sup>	K mg kg <sup>-1</sup>
<i>Castanea sativa</i>														
0-13	330	318	141	211	5,0	48,7	0,36	0,58	0,29	0,06	3,57	26,5	15	64
13-35	321	368	148	163	4,9	45,0	0,14	0,13	0,16	0,07	2,88	14,8	7	53
35-65	376	383	133	108	5,0	8,8	0,07	0,09	0,07	0,06	1,72	14,4		30
<i>Pseudotsuga menziesii</i>														
0-7	326	286	172	216	5,3	42,0	3,30	1,08	0,66	0,11	1,67	75,5	3	129
7-25	339	281	188	192	4,8	36,9	0,18	0,26	0,24	0,09	3,05	20,2	3	80
25-60	456	300	109	136	5,0	11,8	0,08	0,12	0,12	0,11	2,19	16,4		56
<i>Pinus nigra</i>														
0-7	252	342	207	199	4,7	51,6	0,21	0,14	0,29	0,04	6,07	10,1	4	89
7-25	253	429	150	168	4,7	43,5	0,12	0,09	0,20	0,06	5,35	8,1	2	59
25-55	310	331	160	199	4,9	21,4	0,12	0,07	0,14	0,04	3,84	8,8	1	51
<i>Pinus pinaster</i>														
0-12	403	273	165	159	4,9	26,5	0,13	0,17	0,26	0,08	2,1	23,4	9	57
12-28	461	234	153	153	4,9	18,4	0,15	0,12	0,15	0,07	1,82	21,2	3	45
28-50	402	334	140	117	5,0	9,6	0,12	0,08	0,11	0,06	1,51	19,7	3	32

das respectivas concentrações de N, P, K, Ca e Mg, segundo metodologia padrão utilizada no laboratório de solos da UTAD. No caso do carbono do solo, foi utilizado o método de digestão por via húmida de Walkley-Black, utilizando o factor 1,271 (Lagoa *et al.*, 2003) para a conversão em C total.

No tratamento de resultados utilizou-se o teste de comparação de médias Tukey-Kramer HSD (0,05) com recurso ao programa JMP, versão 5.01.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Produção de folhada

Os resultados respeitantes à produção anual de folhada de cada espécie e à sua distribuição por componentes ao longo do ano,

reportam-se respectivamente no Quadro 4 e nas Figuras 1 a 8.

A produção de folhada obtida para as espécies em apreço, enquadra-se no intervalo reportado para latitude idêntica à do local de estudo (Vogt *et al.*, 1986). Além disso, essa produção também se situa dentro do intervalo de valores obtidos para povoamentos de *Eucalyptus globulus*, *Pinus pinaster* e *Quercus suber* sítos na região sul do País (Madeira *et al.*, 1995; Berg *et al.*, 1999; Sá, 2001; Cortez, 1996). Mais especificamente, a produção de folhada observada para PM é da ordem de grandeza da observada por Ranger *et al.* (1996) em povoamentos com 60 anos de idade (3,8 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), dos montes de Beaujaulais (França), em Cambissolos dístricos e com 1000 mm de precipitação média anual e 7 °C de temperatura média anual. Os resultados obtidos para CS estão em linha com os reportados para a

QUADRO 4 - Quantidade de folhada ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) e de cada um dos seus componentes (F – folhas; AG – agulhas; OR – órgãos reprodutores; O – ouriços; PI – pinhas; RM – raminhos; CS – Casca; FR – frutos, OT – outros) para as espécies CS, PM, PN e PP. Os valores entre parênteses indicam a proporção de cada componente da folhada

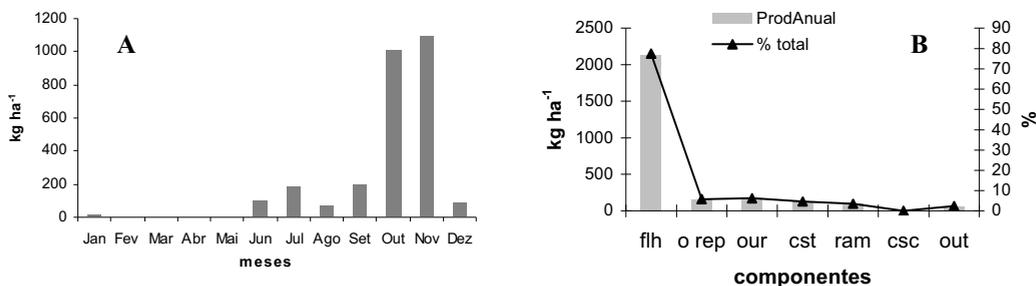
Ano	F/AG	OR	O/PI	RM	CS	OT	FR	Total
<i>Castanea sativa</i>								
1	1855,2	166,6	29,3	102,1	0,0	120,7	30,8	2305
2	2420,3	149,0	318,3	89,8	2,8	8,9	223,2	3212
Média	2137,8 (77,5) <sup>a</sup>	157,8 (5,7)	173,8 (6,3)	96,0 (3,5)	1,4 (0,1)	64,8 (2,3)	127,0 (4,6)	2759
<i>Pseudotsuga menziesii</i>								
1	2872,2	5,3	104,0	396,3	19,7	0,0		3398
2	3647,8	131,1	103,7	551,0	36,3	0,0		4470
Média	3260,0 (82,9)	68,2 (1,7)	103,9 (2,6)	473,7 (12,0)	28,0 (0,7)	0,0 (0,0)		3934
<i>Pinus nigra</i>								
1	3576,7	473,5	630,0	319,8	165,6	354,0		5520
2	3992,6	591,9	2829,6	390,2	421,0	74,2		8300
Média	3784,7 (54,8)	532,7 (7,7)	1729,8 (25,0)	355,0 (5,1)	293,3 (4,2)	214,1 (3,1)		6910
<i>Pinus pinaster</i>								
1	2673,5	539,6	564,5	136,2	18,8	51,7		3984
2	2906,4	574,6	626,3	90,1	48,0	0,0		4245
Média	2790,0 (67,8)	557,1 (13,5)	595,4 (14,5)	113,2 (2,7)	33,4 (0,8)	25,9 (0,6)		4115

mesma espécie por Leonardi *et al.* (1996) (1,7 a 5,1  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) no Monte Etna (Sicília) e por Ranger *et al.* (1990) em povoamentos com 25 anos (entre 3,4 e 6,3  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) do centro-oeste de França, em solos ácidos e onde a precipitação média anual é de 810-1200 mm e a temperatura média anual de 11,1 a 10,5 °C.

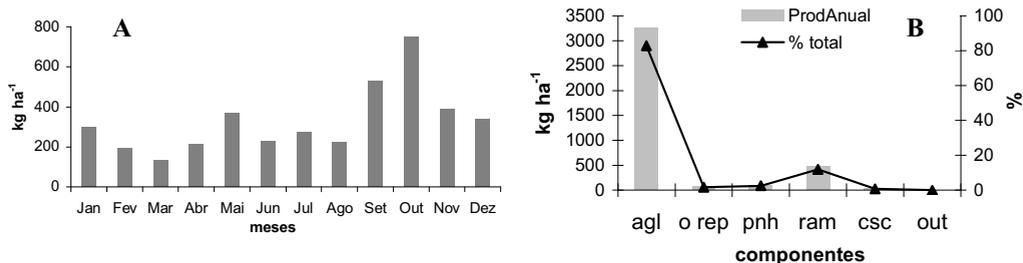
O elevado contributo das agulhas ou folhas nas folhadas estudadas está em consonância com os resultados obtidos por outros autores (Ranger *et al.*, 2003). As proporções obtidas para as folhas de CS e para as agulhas de PP são semelhantes às obtidas em Portugal, respectivamente por Raimundo (2003) e Cortez (1996). A diferenciação da proporção dessa componente nas espécies consideradas, decrescendo de PM, CS, PP a PN, com valores respectivamente de

83, 78, 68 e 55 %, está em correspondência com a elevada representatividade doutros componentes, tal como as pinhas no caso de PN, cuja proporção atingiu 34 % do total da folhada no segundo ano de estudo. Por exemplo, Miller *et al.* (1996) referem a proporção de 75 a 95 % de agulhas em folhadas de resinosas; Leonardi *et al.* (1996) reporta uma proporção de 51 a 72 % no caso de CS; Santa-Regina (2001), por seu turno, obteve para PP 96 % de agulhas no total de folhada.

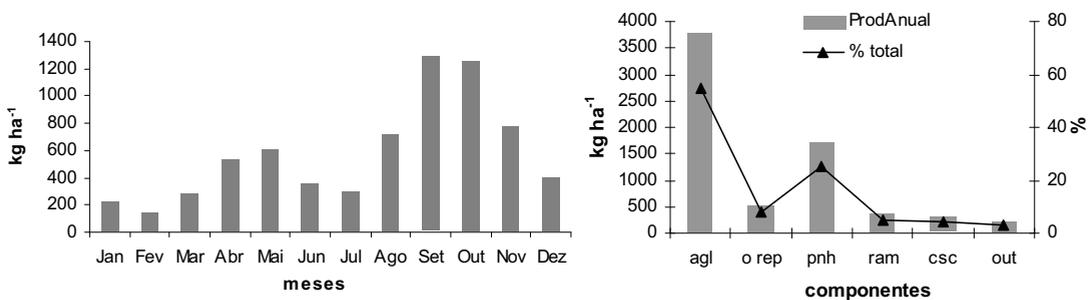
No presente estudo, a produção de folhada nem sempre se alinha com a produtividade das espécies consideradas (Quadro 1). Assim, por um lado, a massa de folhada foi mais elevada em PN comparativamente com PP e CS. Por outro, a PM, com maiores acréscimos em altura e diâmetro do que



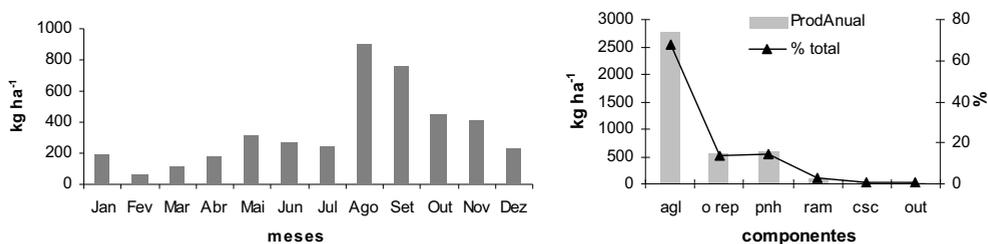
**Figura 1** - Queda mensal de folhada (A) e distribuição da folhada por componentes (B) em *CS*, em que: **filh** – folhas; **o rep** – órgãos reprodutores; **our** – ouriços; **cst** – castanhas; **ram** – raminhos; **csc** – casca; **out** – outros



**Figura 2** - Queda mensal de folhada (A) e distribuição da folhada por componentes (B) em *PM*, em que: **agl** – agulhas; **o rep** – órgãos reprodutores; **pnh** – pinhas; **ram** – raminhos; **csc** – casca; **out** – outros



**Figura 3** - Queda mensal de folhada (A) e distribuição da folhada por componentes (B) em *PN*, com simbologia idêntica a *PM* para os componentes



**Figura 4** - Queda mensal de folhada (A) e distribuição da folhada por componentes (B) em *PP*, com simbologia idêntica a *PM* para os componentes

*PP*, produziu menos folhada do que este. Tal facto poderá atribuir-se em parte à elevadíssima produção de pinhas pelo *PP*, no segundo ano de estudo, o que poderá ter carácter circunstancial. A diferença também poderá atribuir-se à maior densidade de árvores no povoamento de *PP*.

Todas as espécies consideradas apresentaram uma forte variação da produção de folhada nos dois anos de estudo, sendo os valores obtidos para o segundo ano bastante superiores aos obtidos no primeiro. Tal variação corresponde ao padrão observado por vários autores (Ranger *et al.*, 2003; Vogt *et al.*, 1986), os quais atribuem as diferenças ao efeito das condições climáticas ocorridas nos vários anos. Em condições normais de temperatura, quanto maior a precipitação maior a produção de biomassa, o que se vai reflectir na queda de folhagem no ano seguinte, enquanto que em condições de baixa queda pluviométrica e agravamento das condições de secura a produtividade é afectada negativamente e diminuirá a queda de folhada. Assim, no caso em apreço, a baixa produção de folhada no primeiro ano segue-se a um ano de pluviosidade inferior à normal (Quadro 2), enquanto o acréscimo de produção observado no segundo ano, está em correspondência com uma precipitação superior à normal no ano imediatamente anterior.

Esta possível influência das condições de precipitação no período compreendido entre 1994 e 2000 na produção de folhada no ano anterior corrobora, aliás, as observações de Madeira *et al.* (1995) para *Eucalyptus globulus*, bem como as de Sá (2001) para *Quercus suber*.

A dinâmica anual de produção de folhada de qualquer das espécies consideradas apresentou uma nítida sazonalidade, ocorrendo um máximo em períodos característicos. Esse máximo ocorreu em Setembro-Outubro no caso de *PM* e *PN*, em Agosto-Setembro no do *PP* e em Outubro-Novembro no caso de *CS*. Sublinha-se, entretanto, que o padrão sazonal observado para o *PP* é idêntico ao reportado para sítios nas áreas de Pegões e de Óbidos (Cortez *et al.*, 2005), em que a precipitação média anual é cerca de metade daquela da presente área de estudo, sugerindo que esta espécie tem um comportamento semelhante para as diferentes condições ambientais de Portugal Continental.

#### Concentração de nutrientes nas folhadas

No Quadro 5 apresentam-se as concentrações de nutrientes nas componentes da folhada das quatro espécies consideradas. Como as agulhas ou folhas reflectem a dinâmica de nutrientes nos sistemas flores-

tais é a estas que é dada a maior atenção. As folhas e agulhas das folhadas estudadas diferenciam-se sobretudo no respeitante às concentrações de N e Ca. Assim, a concentração de N das agulhas de *PM* e folhas de *CS* foi bastante superior (respectivamente 10,87 e 11,28 g kg<sup>-1</sup>) ao determinado para as agulhas de *PN* e *PP* (respectivamente 7,26 e 5,53 g kg<sup>-1</sup>). Os teores obtidos para as agulhas de *PP*, são inferiores aos observados por Santa-Regina (2001) no Norte de Espanha (7,6 g kg<sup>-1</sup>), num sítio com precipitação média anual de 400 mm, temperatura média anual de 11,4 °C e Luvissoles crómicos, mas da mesma ordem de grandeza dos determinados por Wesemael (1993) no sul da Toscânia (5,7 g kg<sup>-1</sup>), em Cambissolos dístricos, por Kavvadias *et al* (2001) no norte da Grécia (5,8 g kg<sup>-1</sup>), em Cambissolos êtricos, e por Cortez (1996) no Sul de Portugal (Companhia das Lezírias) (5,64 g kg<sup>-1</sup>), em Arenossolos dístricos. Os teores observados para *PN* são por seu turno semelhantes aos determinados por Miller (1984) nas agulhas de *P. nigra* var. *marítima* (7,3 g kg<sup>-1</sup>). A razão C/N das folhas de *CS* e das agulhas de *PM* (respectivamente 50 e 52) foi bastante inferior à obtida para as agulhas de *PP* e *PN* (respectivamente 103 e 78). Por consequência, as folhas de *CS* e as agulhas de *PM* apresentam condições mais favoráveis à decomposição, como foi observado por Azevedo (1997), bem como condições mais favoráveis para disponibilização de N.

O teor de Ca foi significativamente mais elevado nas agulhas de *PM* (9,40 g kg<sup>-1</sup>) do que nas folhas de *CS* (3,69 g kg<sup>-1</sup>) e nas agulhas de *PP* e *PN* (respectivamente 3,42 e 2,41 g kg<sup>-1</sup>). Padrão semelhante também foi observado para a folhada total. A concentração obtida para as agulhas de *PP* enquadra-se nos valores reportados por Kavvadias *et al* (2001) e Wesemael (1993), respectivamente de 2,69 e

3,58 g kg<sup>-1</sup>, e por Cortez *et al.* (2005), em povoamento da mesma espécie e idade próxima. em Porto Alto sobre Arenossolos dístricos (3,2 a 7,8 g kg<sup>-1</sup>). A concentração nas agulhas de *PN* foi bastante menor do que a determinada por Miller (1984) em *P. nigra* var. *marítima* (4,8 a 5,1 g kg<sup>-1</sup>). Tendo em conta valores ponderados da folhada total de *PN* a concentração em Ca foi bastante inferior (1,76 g kg<sup>-1</sup>) à obtida por Kavvadias *et al* (2001) em estudo já mencionado, efectuado no Norte da Grécia, (4,8 - 5,1 g kg<sup>-1</sup>). No caso do *CS*, a concentração em Ca nas folhas (3,7 g kg<sup>-1</sup>) foi bastante mais baixa do que a observada em soutos da região de Trás-os-Montes por Pires & Portela (1993) e Raimundo (2003) (6,1-10,1 g kg<sup>-1</sup>) e por Sariyildiz & Anderson (2005) em povoamentos de castanheiro do SW de Inglaterra (8,0 - 11,2 g kg<sup>-1</sup>), onde a precipitação média anual é de 850 - 1000 mm e os solos são ácidos (Podzóis e Cambissolos dístricos). Tais diferenças atribuem-se aos baixos valores de Ca observados nos solos dos povoamentos do presente estudo.

Os teores ponderados de P situam-se entre os mínimos de 0,41 e 0,57 g kg<sup>-1</sup> (respectivamente em *PP* e *PN*) e os máximos de 0,79 e 1,13 g kg<sup>-1</sup> (em *PM* e *CS*), observando-se que o teor nas folhas de *CS* foi significativamente mais elevado do que nas agulhas de *PM*, *PN* e *PP*. Esses teores revelam-se, para a espécie respectiva, em geral mais baixos do que os reportados por Ranger *et al.* (1996) para *PM* (1,5 a 1,6 g kg<sup>-1</sup>), por Santa-Regina (2001) e Wesemael (1993) para agulhas de *PP* (respectivamente 0,8 g kg<sup>-1</sup> 1,5 g kg<sup>-1</sup>) e por Miller (1984) para agulhas de *P. nigra* var. *marítima*, (0,7 g kg<sup>-1</sup>). Também no caso das folhas de *CS* o teor de P é mais baixo do que o reportado por Raimundo (2003), em soutos fertilizados

(1,4 g kg<sup>-1</sup>), e por Pires & Portela (1993) (1,6 a 4,1 g kg<sup>-1</sup>), mas mais elevados do que os reportados por Sariyildiz & Anderson (2005) (0,5 a 0,9 g kg<sup>-1</sup>). As baixas concentrações de P obtidas deverão relacionar-se com a baixa disponibilidade do mesmo no solo dos povoamentos, conforme referido a propósito da caracterização dos solos (Quadro 3).

As concentrações de K nas agulhas de PP (1,63 g kg<sup>-1</sup>) foi mais baixo do que na mesma componente das restantes espécies

(2,36 g kg<sup>-1</sup> a 2,83 g kg<sup>-1</sup>). Estas concentrações aproximam-se das obtidas pelos autores atrás citados, em povoamentos com as mesmas espécies, o que traduz os razoáveis níveis de K nos solos da área de estudo (Quadro 3). Esta tendência é corroborada pelo facto dos teores obtidos para o CS serem mais baixos do que os obtidos por Pires & Portela (1993) e Raimundo (2003) em souts objecto de fertilização potássica (6,1 - 8,7 g kg<sup>-1</sup>).

**QUADRO 5 - Concentrações de N, P, K, Ca e Mg (g kg<sup>-1</sup>) nos componentes da folhada das quatro espécies (n-número de colheitas nos dois anos de estudo)**

Componente	n	N	P	K	Ca	Mg
<i>Castanea sativa</i>						
Folhas	10	11,28 a	1,17 a	2,45 ab	3,69 b	2,24 a
Inflorescências	4	10,15	0,89	4,00	2,15	1,75
Ouriços	3	7,77	0,80	3,83	1,65	1,48
Castanhas	4	13,83	1,64	6,75	0,58	0,95
Raminhos	5	7,48	0,46	0,90	4,07	1,30
Outros	2	18,75	1,42	2,00	4,53	2,18
<i>Pseudotsuga menziesii</i>						
Agulhas	18	10,87 a	0,79 b	2,83 a	9,40 a	1,14 bc
Inflorescências	12	14,24	1,66	2,80	2,81	1,02
Pinhas	6	7,25	0,72	4,17	0,98	0,71
Raminhos	18	8,37	0,74	1,64	7,27	0,68
Casca	5	9,06	0,57	1,12	5,95	0,66
<i>Pinus nigra</i>						
Agulhas	18	7,26 b	0,59 bc	2,36 ab	2,41 c	0,89 c
Inflorescências	17	14,32	1,29	1,96	1,26	0,82
Pinhas	13	3,55	0,29	1,79	0,38	0,32
Raminhos	12	6,34	0,58	1,17	2,43	0,42
Casca	18	5,01	0,33	1,02	2,02	0,42
Outros	4	10,30	0,86	1,66	1,26	0,76
<i>Pinus pinaster</i>						
Agulhas	17	5,53 b	0,42 c	1,63 b	3,42 b	1,37 b
Inflorescências	10	5,38	0,33	0,96	3,16	0,56
Pinhas	9	5,14	0,36	1,64	4,82	0,73
Raminhos	4	9,20	0,71	1,28	1,91	1,03
Casca	4	4,13	0,33	1,20	0,39	0,36
Outros	14	11,35	1,14	2,41	1,84	0,95

No caso das folhas/agulhas, letras diferentes na mesma coluna exprimem diferenças estatisticamente significativas entre espécies (Tukey-Kramer HSD 0,05)

O teor de Mg mais elevado foi determinado nas folhas de *CS* (2,24 g kg<sup>-1</sup>), o qual foi significativamente superior ao das agulhas de *PP* (1,37 g kg<sup>-1</sup>), de *PM* (1,14 g kg<sup>-1</sup>) e de *PN* (0,89 g kg<sup>-1</sup>). O teor observado para *PM* é idêntico ao reportado por Ranger *et al.* (1996), enquanto o determinado para *PP* se aproxima dos referidos por Kavvadias *et al.* (2001) e Wesemael (1993). A concentração de Mg nas agulhas de *PN* também é semelhante à observada por Miller (1984) para *P. nigra* var. *maritima* (0,8 g kg<sup>-1</sup>). Para *CS* os valores enquadraram-se nos obtidos por Sariyildiz e Anderson (2005) (1,6 a 2,4 g kg<sup>-1</sup>) e semelhantes aos reportados para souts (2,3 - 2,7 g kg<sup>-1</sup>) por Raimundo (2003) e Pires & Portela (1993).

As diferenças de composição das folhas traduzem-se nas características das camadas orgânicas (Quadro 6). Com efeito, a concentração média de Ca nas camadas orgânicas do povoamento de *PM*, tal como observado para a folhagem, e do mesmo modo que o reportado por Fonseca & Martins (1999) para as camadas L, F e H, é substancialmente mais elevada do que nas dos outros povoamentos estudados. Padrão semelhante foi observado para o N e para o P, cujas concentrações foram mais elevadas nas camadas orgânicas das espécies que genericamente apresentam também as concentrações mais elevadas na respectiva folhagem (*CS* e *PM*). As camadas orgâni-

cas das espécies estudadas não parecem diferenciar-se no tocante ao *turnover* de N, dado que a razão entre a quantidade de N nelas acumulada e o fluxo médio anual via folhagem, através do retorno anual ao solo, variou apenas entre 11 e 12. O mesmo se pode afirmar para o P, pois semelhante razão apresentou também um estreito intervalo (10-13).

A razão determinada para o Ca foi da ordem de 6, no caso das espécies *PP* e *PN*, subindo para 8 e 9 nas outras (respectivamente *PM* e *CS*), o que se atribui a uma maior taxa de retenção de Ca, provavelmente devido a uma humificação mais intensa devido à menor razão C/N das respectivas folhagens.

#### Retorno anual de nutrientes ao solo

A devolução anual de N ao solo decresceu segundo a ordem *PN* > *PM* > *CS* > *PP* (47,2, 41,4, 30,8 e 23,0 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente), estando o valor máximo em correspondência com o de máxima produção de folhagem (Quadros 7 e 4). O P devolvido situou-se entre valores muito próximos no caso de *CS*, *PM* e *PN* (3,1 - 3,9 kg ha<sup>-1</sup>), enquanto em *PP* atingiu um valor muito menor (1,7 kg ha<sup>-1</sup>). O fluxo anual de K situou-se entre o máximo de 14,2 e o mínimo de 6,3 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente em *PN* e *PP*. O fluxo de Ca atingiu o máximo

QUADRO 6 - Massa (t ha<sup>-1</sup>) das camadas orgânicas do solo e concentração (g kg<sup>-1</sup>) e quantidade (kg ha<sup>-1</sup>) de nutrientes nelas acumulados

Espécie	Massa t ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>					kg ha <sup>-1</sup>					C/N
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	
<i>PP</i>	23,5	11,3	0,9	5,0	3,7	3,0	265	21	118	113	70	51
<i>PN</i>	59,3	9,7	0,7	4,5	1,3	1,7	576	39	265	77	102	60
<i>PM</i>	33,0	14,9	1,2	9,7	8,5	5,8	492	41	320	282	191	39
<i>CS</i>	16,6	20,7	2,1	9,2	5,3	6,5	343	35	152	88	108	28

(34,5 kg ha<sup>-1</sup>) no povoamento de *PM* e foi entre 2,4 a 3,7 vezes maior do que nos restantes (respectivamente 9,3, 12,2 e 14,4 kg ha<sup>-1</sup> para *CS*, *PN* e *PP*), o que está em correlação com a elevada concentração do mesmo na respectiva folhada. Para o Mg estimaram-se valores de 5,7, 4,7 e 4,2 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente para *CS* > *PN*=*PP* > *PM*.

**QUADRO 7 - Retorno ao solo (kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) de nutrientes nos quatro povoamentos das espécies consideradas**

Espécie	N	P	K	Ca	Mg
<i>C. sativa</i>	30,8	3,1	7,6	9,3	5,7
<i>P. menziesii</i>	41,4	3,1	10,7	34,5	4,2
<i>P. nigra</i>	47,2	3,9	14,2	12,2	4,7
<i>P. pinaster</i>	23,0	1,7	6,3	14,4	4,7

Comparando os valores estimados da quantidade de nutrientes devolvida anualmente ao solo por cada uma das folhadas e a quantidade de nutrientes existentes nos respectivos solos, até 20 cm de profundidade (Quadro 8), conclui-se que o retorno de nutrientes ao longo do período da revolução (Quadro 7) é muito maior do que aquela que existe no solo nessa espessura, sobretudo no que toca à *PM*. Este facto confirma a importância do retorno de nutrientes pela folhada na disponibilidade dos mesmos e nas características do solo de cada povoamento. Também as quantidades de nutrientes nas camadas orgânicas (Quadro 6) são maiores do que as dos disponíveis nas camadas minerais até 20 cm de profundidade, o que de forma indubitável releva a importância das camadas orgânicas na disponibilidade de nutrientes e na sustentabilidade dos povoamentos estudados.

O retorno de nutrientes via folhada é crucial na interacção entre a vegetação e o solo, pois, para além da influência nas características das camadas orgânicas,

também diferencia as espécies na sua influência nas características dos horizontes minerais do solo. Assim, foi observada uma concentração significativamente mais elevada de Ca de troca e um valor de pH superior (Quadro 3) nas camadas minerais dos solos do povoamento de *PM* (e em menor extensão no de *CS*) do que nas dos outros, sugerindo que a *CS* e a *PM* limitam a acidificação do solo. A absorção de nutrientes pelo sistema radical das árvores em todo o perfil do solo e a sua redistribuição nas camadas orgânicas (Fisher, 1990) determina elevada libertação de Ca e Mg para as camadas minerais do solo, contrariando a progressiva saturação em Al do complexo de troca do mesmo. Este efeito é de grande importância em solos com baixa reserva mineral, onde as reacções de troca Ca-H ou Ca-Al nas camadas superficiais são um eficiente tampão para a acidificação do solo. Deste modo, as constantes recargas de Ca, K e Mg resultantes da mineralização da matéria orgânica de *PM* e de *CS*, ao contrário do observado para *PP* e *PN*, limitam a acidificação da camada superficial do solo. Aliás, esse efeito foi observado experimentalmente por Madeira & Ribeiro (1995) e por Raimundo *et al.* (2002) com folhadas de *E. globulus*, *P. pinaster* e *C. sativa*.

**Quadro 8 - Quantidade de nutrientes (kg ha<sup>-1</sup>) na espessura de 0 - 20 cm das camadas minerais solos dos quatro povoamentos consideradas**

Espécie	P	K	Ca	Mg
<i>C. sativa</i>	11,2	54,4	52,3	47,3
<i>P. menziesii</i>	2,7	89,9	244,6	62,0
<i>P. nigra</i>	2,7	69,2	30,2	12,8
<i>P. pinaster</i>	5,9	47,2	25,1	16,3

Embora não se conheça o efeito da depleção de nutrientes devido à remoção da biomassa de *PM* e *CS* (sobretudo dos

resíduos de abate) nas características do solo, os resultados sugerem que este não é afectado negativamente durante a revolução. A corroborar esta tendência têm-se em conta resultados de Ranger *et al.* (1996), os quais indicam que a quantidade de N, P, K, Ca e Mg transferida anualmente para a biomassa aérea numa plantação de *P. menziesii* com 60 anos, monta, respectivamente, a 31,1, 2,5, 8,0, 23,7 e 21, kg ha<sup>-1</sup>, o que é inferior ao retorno para o solo pela folhada observado no presente estudo. Também no que respeita à *PM*, a espécie com maior crescimento, Pritchett & Fischer (1987) referem que a quantidade de N extraída anualmente do solo por um povoamento com 37 anos de idade atinge 39 kg/ha, o que também é inferior à quantidade de N devolvida pela folhada. As quantidades de P e K absorvidas (respectivamente 7 e 29 kg) estão acima da quantidade de P e K devolvidas, estimadas no presente estudo. Este facto está em relação com a baixa disponibilidade de P no solo (Quadro 3); no caso do K a eventual diferença deverá ser compensada com o K devolvido ao solo pela lixiviação das copas e pelo escoamento pelo tronco.

## CONCLUSÕES

A produção média anual de folhada decresceu segundo a ordem  $PN > PP > PM > CS$  e variou entre 5520 e 2305 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, atribuindo-se esta amplitude a diferenças de produtividade, à densidade dos povoamentos e à idade dos mesmos. A produção de folhada apresentou grande variação inter anual, a qual deverá estar em correspondência com a queda pluviométrica do ano anterior à recolha da mesma.

A queda de folhada das espécies resinosas foi contínua, mas concentrou-se essen-

cialmente entre Agosto e Outubro, enquanto no caso da folhosa se interrompeu entre Janeiro e o início do verão, tendo lugar sobretudo em Outubro e Novembro. As folhas e agulhas foram a componente largamente dominante da folhada, cuja proporção média decresceu segundo a ordem  $PM > CS > PP > PN$ , atingindo respectivamente 83, 78, 68 e 55 % do total. Salienta-se que a proporção de pinhas pode ser pontualmente importante, como foi o caso do *PN*, em que atingiram 34 % da folhada.

A concentração de nutrientes foi genericamente maior nas folhadas de *CS* e *PM*, do que nas de *PP* e *PN*. Além disso, a concentração em Ca nas agulhas de *PM* foi mais elevada do que nas folhas de *CS* e muito mais do que nas agulhas de *PP* e *PN*. O fluxo de nutrientes para o solo foi consequência da produção de folhada e da concentração de nutrientes na mesma. As grandes quantidades de Ca e Mg libertados pelos resíduos de *PM* na superfície do solo limitarão a acidificação do solo, contrariando a progressiva saturação em Al de troca e a consequente acidificação, o que é de grande importância em solos com baixa fertilidade.

## AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam o seu agradecimento ao Laboratório de Solos da UTAD e aos técnicos deste, pelo trabalho analítico, à Direcção de Serviços das Florestas, na pessoa da Eng<sup>a</sup> Técnica Agrária Arlete Pereira, pelo apoio na selecção e disponibilização da área experimental, e aos Técnicos Auxiliares do Depto. de Edafologia, Jorge Pinheiro, Martinho Correia e Francisco Aguiar, pela colaboração no trabalho de campo e na separação e quantificação de material recolhido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo, S.C.M. 1997. *Evolução da Composição Química Estrutural da Folhada de Quatro Espécies Florestais Durante o Processo de Decomposição*. Relatório final de estágio de licenciatura em Engenharia Florestal. UTAD, Vila Real.
- Berg, B., Albrektson, A., Berg, M.P., Cortina, J., Johansson, M.B., Gallardo, A., Madeira, M., Pausas, J., Kratz, W., Vallejo, R. & McLaugherty, C. 1999. Amounts of litterfall in some pine forests in a European transect, in particular Scots pine. *Ann. For. Sci.*, **56**: 625-639.
- Binkley, D. 1986. *Forest Nutrition Management*. John Wiley & Sons, New York.
- Cortez, N.R.S. 1996. *Compartimentos e Ciclos de Nutrientes em Plantações de Eucalyptus globulus Labill. ssp. globulus e Pinus pinaster Aiton*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Agronómica. UTL, ISA, Lisboa.
- Cortez, N., Madeira, M., Martins, A. & Fabião, A. 2005. Produção de folhada e devolução de nutrientes ao solo em povoamentos de *Eucalyptus globulus* e de *Pinus pinaster*. *Revista de Ciências Agrárias*, **28**: 389-403.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1998. *World Reference Base for Soil Resources*. Roma.
- Fischer, R.F. & Binkley, D., 2000. *Ecology and Management of Forest Soils* (3<sup>rd</sup> Ed.). John Wiley & Sons, New York.
- Fonseca, F.M.S. 1997. *Implicações do Tipo de Coberto Florestal nos Horizontes Orgânicos e Minerais do Solo: Aplicação de Quatro Povoamentos na Serra da Padrela, N. de Portugal*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Florestais. UTAD, Vila Real.
- Fonseca, F.M.S. & Martins, A. 1999. Implicações do tipo de coberto florestal nos horizontes orgânicos e minerais do solo: Aplicação a povoamentos de *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa* em Trás-os-Montes. *Livro de Resumos do Encontro Anual da SPCS*, Vila Real 28-30 de Junho, pág. 101.
- INMG 1970. *O Clima de Portugal*. Fascículo XIII. Instituto Nacional de Meteorologia e Geografia, Lisboa.
- Kavvadias, V.A., Alifragis, D., Tsiontsis, A., Brofas, G & Stamatelos, G. 2001. Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece. *Forest Ecology and Management*, **144**, 113-127.
- Lagoa, R., Ribeiro, H., Cabral, F., Madeira, M. & Coutinho J. 2003. Determinação do carbono orgânico em solos não calcários por métodos de via húmida e via seca. Encontro Anual da SPCS 2003, Coimbra, 10-12 Julho. Programa e Resumos, pág. 54.
- Leonardi, S. & Rapp, M. 1989. Productivité et gestion des bioéléments dans un peuplement de Pin d'Alep de Sicile méridionale. *Archivio Botanico Italiano*, No 65-1/2, 59-72.
- Leonardi, S., Rapp, M., Failla, M. & Guarnaccia, D. 1996. Biomasse, productivité et transferts de matière organique dans un séquence altitudinale de peuplements de *Castanea sativa* Mill de l'Etna. *Annales Science Forestière*, **53**: 1031-1048.
- 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., Araújo, M.C. & Pereira, J.S. 1995. Effects of water and nutrient supply on amount and on nutrient concentration of litterfall and forest floor litter in *Eucalyptus globulus* plantations. *Plant and Soil*, **168-169**: 287-295.
- Metson, A.J. 1956. Methods of chemical analysis for soil survey samples. New

- Zealand Department of Scientific and Industrial Research Soil Bureau. *Bulletin* no 12: 165-175.
- Miller, H.G. 1984. Dynamics of nutrient cycling in plantation ecosystems. In Bowen, G.D. & Nambiar, E.K.S. (eds) *Nutrition of Plantation Forests*. Academic Press, London.
- Miller, J.D., Cooper, J.M. & Miller, G. 1996. Amounts and nutrient weights in litterfall and their annual cycles, from a series of fertilizer experiments on pole-stage Sitka spruce. *Forestry*, **69**(4): 289-301.
- Murias, M.A.B. 2005. Biomassa Arbórea y Estabilidad Nutricional de los Sistemas Forestales de *Pinus pinaster* Ait., *Eucalyptus globulus* Labill. Y *Quercus robur* L. en Galicia. Dissertação de doutoramento. Universidade de Santiago de Compostela. Escola Politécnica Superior. Lugo, Espanha.
- Pires, A.L. & Portela, E. 1993. Nutrient balance in low and intensively managed chestnut groves in Northern Portugal. *International Congress on Chestnut, Spoleto, Italy, October 20-23. Proceedings*.
- Pritchett, W.L. & Fischer, R.F. 1987. *Properties and Management of Forest Soils*. John Wiley & Sons, New York.
- Raimundo, F.P.F. 2003. *Sistemas de Mobilização do Solo em Soutos: Influência na Produtividade de Castanha e nas Características Físicas e Químicas do Solo*. Dissertação de Doutoramento. UTAD, Vila Real.
- 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 das Ciências Agrárias*, **25** (3/4): 157-172.
- Ranger, J, Nys, C. & Bouchon, J. 1990. Les relations entre la fertilité du sol, la production et l'utilisation d'éléments nutritifs dans les taillis de châtaignier. *Acta Ecologica*, **11** (4): 487-501.
- Ranger, J, Marques, R., Colin-Belgrand, Flammang, N. & Gelhaye, D., 1996. La dynamique d'incorporation d'éléments nutritifs dans un peuplement de Douglas (*Pseudotsuga menziesii* Franco). Conséquences pour la gestion sylvicole. *Revue Forestière Française*, **48**(3): 217-229.
- Ranger, J, Gerard, F., Lindemann, M., Gelhaye, D. & Gelhaye, L. 2003. Dynamique of litterfall in a cronosequence of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) stands in the Beaujolais mountains (France). *Ann. For. Sci.*, **60**: 475-488.
- Sá, C.M.M.S.S. 2001. *Influência do Coberto Arbóreo (Quercus suber L.) em Processos Ecofisiológicos da Vegetação Herbácea em Áreas de Montado*. Dissertação de doutoramento. Universidade de Évora. Évora.
- Santa-Regina, I. 2001. Litterfall, decomposition and nutrient release in three semi-arid forests of the Duero basin, Spain. *Forestry*, **74**(4): 4347-358.
- Santa-Regina, I. & Gallardo, J.F. 1995. Biogeochemical cycles in forest of the "Sierra de Béjar" mountains (province of Salamanca, Spain): decomposition index of the leaf litter. *Annales Sciences Forestière*, **52**: 393-399.
- Sariyildiz, T. e Anderson, J.M. 2005. Variation in the chemical composition of green leaves and leaf litters from three deciduous tree species growing on different soil types. *Forest Ecology and Management*, **210**: 303-319.
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos – Instituto Nacional da Água -Site da Internet –<http://snirh.inag.pt>.
- Vogt, K.A., Grier, C.C. & Vogt, D.J. 1986. Production, turnover, and nutrient dynamics of above and belowground detri-

tus of world forests. In McFayden, A. & Ford, E.D. (eds) *Advances in Ecological Research*, pp. 303-377. Academic Press, Harcourt Brace Jovanovich Publ. London.

Wesemael, B. Van. 1993. Litter decomposition and nutrient distribution in humus profiles in some mediterranean forests in southern Tuscany. *Forest Ecology and Management*, **57**: 99-114.