

Decomposição de folhada de quatro espécies florestais no Norte de Portugal: Taxa de decomposição e evolução da composição estrutural e do teor em nutrientes

Decomposition of litterfall from four forest species in Northern Portugal: Decomposition rate, and structural components and nutrient dynamics

A. Martins¹, S. Azevedo¹, F. Raimundo¹, L. Carvalho² & M. Madeira³

RESUMO

Estudou-se a decomposição e a dinâmica de nutrientes de folhas e agulhas senescentes de *Castanea sativa* (CS), *Pinus pinaster* (PP), *Pinus nigra* (PN) e *Pseudotsuga menziesii* (PM) durante 3,1 a 3,5 anos, bem como a evolução da composição química e estrutural dos mesmos resíduos durante 391 a 518 dias, por intermédio da técnica das saquetas. Os teores de N eram mais elevados nas agulhas de PM (14,5 g kg⁻¹) e nas folhas de CS (12,1 g kg⁻¹) do que nas agulhas de PP (3,8 g kg⁻¹) e PN (4,7 g kg⁻¹) e, implicando que a razão C/N fosse menor nas primeiras (respectivamente 39,0 e 46,8) do que nas segundas (respectivamente 147,7 e 122,2). As agulhas de PM apresentavam o teor mais elevado de Ca (9,1 g kg⁻¹) e de compostos solúveis em álcool e água (384 g kg⁻¹, contra 95 a 160 g kg⁻¹ nas restantes espécies), mas o teor mais baixo em hemicelulose (253 g kg⁻¹, contra ±500 g kg⁻¹ nas restantes espécies). A razão lenhina/N era muito maior nas agulhas de PP e PN (res-

pectivamente 71,2 e 58,3) do que nas agulhas de PM e folhas de CS (respectivamente, 20,5 e 20,3), enquanto a razão hemicelulose/lenhina se situava entre o mínimo de 0,9, nas agulhas de PM, e 1,9 - 2,1 para as outras espécies. A taxa de decomposição anual para todo o período de estudo, seguindo o modelo exponencial negativo, decresceu segundo a ordem CS>PN>PM>PP (-0,35, -0,27, -0,19 e -0,16), com valores mais elevados no primeiro ano em CS (-0,60) e PM (-0,31). Os constituintes solúveis e a hemicelulose decresceram em geral acentuadamente com o decorrer da decomposição, enquanto a lenhina e a celulose apresentaram pequena variação, nomeadamente nas agulhas de PP e PM. As quantidades remanescentes de K, Ca e Mg decresceram durante o processo de decomposição, atingindo no final do estudo respectivamente 17 a 65%, 30 a 60 % e 18 a 59% da inicial. As quantidades remanescentes finais de N (41 a 121 %) e de P (33 a 104 %) tanto foram inferiores como superiores às iniciais. A razão C/N diminuiu acentuadamente duran-

¹ Dep. Edafologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), Apart. 1013, 5001-801 Vila Real, Portugal; Tel. 259 350209; e-mail: amartins@utad.pt; ²Centro de Química-Vila Real - UTAD, Apart. 1013, 5001-801 Vila Real; ³Departamento de Ciências do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa

te a decomposição, sobretudo nas agulhas de PP e PN, com valores finais de 53,2 47,1.

ABSTRACT

Decomposition of senescent leaves of *Castanea sativa* (CS), and needles of *Pinus pinaster* (PP), *Pinus nigra* (PN) and *Pseudotsuga menziesii* (PM) was studied during 3.1 to 3.5 years through weight loss and nutrient concentration evolution, using the litter bag technique, whereas the variation of chemical structural compounds was followed during 391 to 518 days. The highest contents of N were measured in PM and CS (respectively 14.5 and 12.1 g kg⁻¹), which showed lower C/N ratio (39.0, 46.8) than PN and PP (122.2 and 147.7, respectively). Highest contents of Ca (9.1 g kg⁻¹) and of alcohol and water soluble compounds (384 against 95 to 160 g kg⁻¹ to other species) were measured in PM needles, which also showed the lowest contents of holocelulose (253 g kg⁻¹ against about 500 g kg⁻¹ in the other species). The lignin Klason/N ratio decreased according to PP>PN>PM>CS, (71.2, 58.3, 20.5 and 20.3 respectively), and the holocelulose/lignin ratio ranged from 0.9 (PM) to 1.9-2.1 in the other species. Annual decay rates, according to the negative exponential model, were ordered according to CS>PN>PM>PP (respectively -0.35, -0.27, -0.19 and -0.16), but with higher values during the first year for CS (-0.60) and PM (-0.31). Soluble compounds and hemicelulose strongly decreased during the decomposition period, while lignin and cellulose amounts showed a low variability, mainly in PP and PM needles. Nutrient amounts decreased during the decomposition process, but remaining quantities for N (41 to 121 %) and P (33 to 104 %) were higher than those estimated for K, Ca and Mg (respectively 17 to 65%, 30 to 60 % and 18 to

59%). A strong decreasing of C/N ratio was observed especially for PP and PN, where reached 53.2 and 47.1.

INTRODUÇÃO

Os nutrientes absorvidos anualmente em sistemas florestais são em grande parte resultantes do processo de decomposição da folhada, o que confere a este processo um papel fundamental no fluxo de nutrientes para o solo, na transferência de energia entre plantas e solo e no funcionamento destes sistemas, em particular em solos de baixa fertilidade. A quantidade de folhada produzida e a taxa de liberação de nutrientes no decurso do processo de decomposição condicionam em grande parte aquele fluxo, estando o último processo muito dependente da actividade biológica, por seu lado condicionada, entre outros factores, pelas condições climáticas, pela composição química e estrutural da folhada e pela disponibilidade de nutrientes no meio (Miller *et al.*, 1996; Fisher & Binkley, 2000; Kavvadias *et al.*, 2001; Santa-Regina & Gallardo, 1995; Murias, 2005).

Por outro lado, em sistemas florestais mediterrânicos, o papel da decomposição da folhada no fluxo de nutrientes assume uma importância acrescida tendo em conta a degradação da vegetação arbustiva e dos solos por frequentes fogos, por cultivo intensivo e por excesso de pastoreio (Kavvadias *et al.*, 2001). No tocante à influência das características da folhada, sublinha-se que um teor elevado em lenhina e um baixo teor em N conduz geralmente a taxa de decomposição mais lenta e a maior imobilização de N, do que folhadas com baixo teor em lenhina e elevado teor em N (Hendricks & Boring 1992). Por outro lado, Entry & Backman (1995) observaram que a degradação da celulose e da lenhina é mais rápida

em materiais com elevado teor em C facilmente degradável e elevada concentração em N, devido ao elevado metabolismo e rápido crescimento da população microbiana que essas condições proporcionam. Com efeito, os teores em N, em lenhina, em substâncias solúveis em água e em cutina, a dureza e as razões C/N, C/P, lenhina/N e holocelulose/lenhina, têm sido considerados por muitos investigadores como índices de qualidade das folhadas e indicadores da sua susceptibilidade à decomposição (Hart & Firestone, 1992; Gallardo & Merino, 1993). A cutina é um dos compostos incluídos na lenhina de Klason e é considerada como um dos materiais vegetais mais recalcitrantes à decomposição, ao conferir condições de impermeabilidade e resistência à degradação microbiológica (Gallardo & Merino, 1993).

Face à inexistência de informação dessa índole para a Região Norte de Portugal, desenvolveu-se um estudo de decomposição em povoamentos de duas espécies nativas (*Castanea sativa* Miller (CS) e *Pinus pinaster* Aiton (PP)) e duas espécies exóticas, *Pinus nigra* Arnold subsp. *laricio* (PN) e *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel), Franco var. *menziesii* (PM), onde se acompanhou o processo de decomposição de folhas e agulhas senescentes através da evolução da respectiva perda de peso e dos teores em nutrientes e em compostos químicos estruturais, visto esses órgãos constituírem a proporção dominante das respectivas folhadas (83, 78, 68 e 55 %, respectivamente para PM, CS, PP e PN) (Martins *et al.*, 2006). Outros estudos inerentes a estes povoamentos, incidindo sobre a produção de folhada e concentração em nutrientes na mesma, características das camadas orgânicas e minerais do solo e particularidades da decomposição de algumas folhadas, foram já objecto de publicação (Azevedo, 1997; Fonseca,

1997; Martins *et al.*, 1999; Cortez *et al.*, 2005; Martins *et al.*, 2006).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo desenvolveu-se em quatro povoamentos florestais – de *Castanea sativa* Miller (CS), de *Pinus pinaster* Aiton (PP), de *Pinus nigra* Arnold subsp. *laricio* (PN) e de *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel), Franco var. *menziesii* (PM) – instalados em 1938, em condições de clima, relevo e solo semelhantes. No início do estudo (1995) as espécies resinosas tinham 57 anos de idade, enquanto a CS foi submetida a um corte raso em 1980, tendo a talhadia 15 anos de idade em 1995. Os povoamentos situam-se na Serra da Padrela, próximo de Vila Pouca de Aguiar (longitude 7° 36' 43'' a 7° 38' 29'' W, latitude 41° 29' 24'' a 41° 30' 38'' N), a uma altitude entre 800 e 900 m, em encostas com declive entre 10 % e 40 % e exposição entre W e NW.

A temperatura média anual da área é de 11,8 °C, sendo a média das temperaturas máximas de 8,0 °C em Janeiro e de 25,9 °C em Agosto, a precipitação média anual é de 1381 mm (INMG 1970). Com base nos dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, Instituto Nacional da Água, apresenta-se no Quadro 1 os valores da precipitação mensal para os anos que incluíram o período de estudo (<http://snirh.inag.pt>). De acordo com os valores desse quadro, a precipitação anual nos anos de 1996 e 1997 aproximou-se da média acima mencionada, enquanto em 1995 foi ligeiramente inferior e em 1998 bastante inferior àquela média.

Os solos da área de estudo correspondem genericamente a *Umbrissolos húmicos* (povoamentos de PM e CS), *Umbrissolos háplicos* (PN) e *Cambissolos dístricos* (PP) (FAO, 1998), derivados de xistos. Trata-se

QUADRO 1- Precipitação mensal durante os anos de 1995 a 1998

Ano	Mês												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1995	214,5	120,5	58,7	38,5	84,5	33,5	10,5	12	48,2	90,5	262,5	286,5	1260
1996	476	106	106	34,5	111	9,3	14,5	4,8	92	66	206,5	209,5	1436
1997	201	32,5	2	30,8	147	36	35,5	20	7,4	158	439	266	1375
1998	180,5	65,5	43,5	254,7	69,5	36	6	0	142,5	3	109,5	44,5	955

de solos ácidos, com valor de pH em H₂O a variar entre 4,7 em PN e 5,3 em PM, de textura franca a franco-arenosa, com teor de C orgânico nas camadas superficiais geralmente elevado (36,9 a 51,6 g kg⁻¹), com exceção do subcoberto de PP, onde esse teor atinge 18,4 - 26,5 g kg⁻¹. Em qualquer dos povoamentos os solos apresentavam teor muito baixo (< 15 mg kg⁻¹) em P extraível e geralmente médio (51-100 mg kg⁻¹) em K extraível. O complexo de troca da camada superficial apresentava concentrações mais altas de bases no caso da espécie PM (5,15 cmol_c kg⁻¹) do que no das espécies CS, PN e PP, (respectivamente 1,29, 0,68 e 0,64 cmol_c kg⁻¹), mostrando um nítido enriquecimento em Ca e Mg, com o conseqüente 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 (0,47 a 0,77 cmol_c kg⁻¹) (Fonseca, 1997; Martins *et al.*, 2006).

Utilizaram-se agulhas e folhas senescentes colhidas no Outono de 1994, no subcoberto dos povoamentos, correspondendo ao material recentemente caído e depositado na superfície da camada orgânica do solo. Os materiais foram secos a 45 °C e posteriormente colocados em saquetas de nylon com 20x10 cm (*litter-bags*) e malha de 1mm (CS, PP e PN) e de 0,5 mm (PM). Em amostras separadas

determinou-se a humidade de cada um dos materiais por secagem na estufa a 75°C.

Do material recolhido em cada povoamento, constituíram-se duas amostras para análise da composição original dos substratos (Quadro 4).

QUADRO 2- Datas de instalação e amostragem do material em decomposição

Espécies	CS	PP	PN	PM
Inst	3-1-95	3-1-95	6-4-95	10-5-95
1	3-3-95	3-3-95	6-6-95	17-7-95
2	10-5-95	10-5-95	5-9-95	5-9-95
3	18-7-95	18-7-95	6-11-95	6-11-95
4	5-9-95	5-9-95	17-1-96	17-1-96
5	6-11-95	6-11-95	4-3-96	4-3-96
6	17-1-96	17-1-96	4-6-96	4-6-96
7	4-3-96	4-3-96	6-12-96	6-12-96
8	4-6-96	4-6-96	14-2-97	14-2-97
9	6-12-96	6-12-96	5-6-97	5-6-97
10	14-2-97	14-2-97	31-10-97	31-10-97
11	5-6-97	5-6-97	31-1-98	31-1-98
12	31-10-97	31-10-97	29-6-98	29-6-98
13	31-1-98	31-1-98	-	-
14	29-6-98	29-6-98	-	-

Para o ensaio de decomposição, prepararam-se 230 saquetas para CS e PP e 200 saquetas para PN e PM, que foram distribuídas, em cada povoamento, em três locais escolhidos de forma aleatória; em cada data de amostragem colheram-se cinco saquetas de cada local, isto é, quinze de cada povoamento. As datas de instalação, amostragens e espaçamento entre estas indicam-se nos Quadros 2 e 3.

QUADRO 3- Tempo decorrido, em dias e anos, entre a instalação e cada amostragem

Espécies unid	PP		CS		PN		PM	
	dias	anos	dias	anos	dias	anos	dias	anos
1	59	0,16	59	0,16	61	0,17	68	0,19
2	127	0,35	127	0,35	152	0,42	118	0,32
3	196	0,54	196	0,54	214	0,59	180	0,49
4	245	0,67	245	0,67	286	0,78	252	0,69
5	307	0,84	307	0,84	333	0,91	299	0,82
6	379	1,04	379	1,04	425	1,16	391	1,07
7	426	1,17	426	1,17	610	1,67	576	1,58
8	518	1,42	518	1,42	680	1,86	646	1,77
9	703	1,93	703	1,93	791	2,17	757	2,07
10	773	2,12	773	2,12	939	2,57	905	2,48
11	884	2,42	884	2,42	1031	2,82	997	2,73
12	1032	2,83	1032	2,83	1180	3,23	1146	3,14
13	1124	3,08	1124	3,08	-	-	-	-
14	1273	3,49	1273	3,49	-	-	-	-

Por dificuldades surgidas na preparação das saquetas, não foi possível instalá-las em simultâneo, pelo que nos povoamentos de CS e PP foram instaladas em 3 de Janeiro de 1995, enquanto as de agulhas de PN foram incubadas em 6 de Abril e as de PM em 10 de Maio do mesmo ano (Quadro 2). Para avaliação da perda de peso foram efectuadas 14 amostragens para as folhas de CS e agulhas de PP e 12 para as agulhas de PN e PM, abrangendo um período total de 1273 dias (3,49 anos) nas duas primeiras espécies, 1180 dias (3,23 anos) em PN e 1146 dias (3,14 anos) em PM (Quadro 3). O período que mediou entre as datas de incubação das saquetas e a primeira amostragem foi de aproximadamente dois meses no primeiro ano, e, de três a seis meses a partir daí. A avaliação da dinâmica de nutrientes efectuou-se durante 1124 dias, para as folhas de CS e agulhas de PP, 1031 dias para as agulhas de PN e 937 dias para as agulhas de PM, enquanto para a observação da dinâmica dos compostos orgânicos se consideraram 518 dias para as folhas de CS e agulhas de PP, 425 dias para as agulhas de PN e 391 dias para as agulhas de PM.

Em cada data de amostragem, o material de cada saqueta foi seco a 75 oC, pesado e retirada uma parte para incineração a 450 oC (durante 6 horas) e determinação do C orgânico e da cinza. O remanescente de cada uma das 15 amostras de cada substrato de estudo foi agrupado em duas amostras, para determinação de N, P, K, Ca e Mg. No processo analítico adoptou-se a metodologia em uso no laboratório de solos da UTAD. O N foi determinado pelo método de Kjeldahl e quantificado por espectrofotometria de absorção molecular em autoanalisador de fluxo segmentado, através da reacção de Berthelot. O P foi mineralizado em digestão por via húmida e quantificado também por espectrofotometria de absorção molecular, recorrendo ao método do molibdato de amónio-ácido ascórbico. Para doseamento do Ca, Mg e K, as amostras foram submetidas a uma digestão nítrico-perclórica e posteriormente determinou-se nos extractos o Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atómica e o K por espectrofotometria de absorção de chama.

Para o estudo da variação da composição estrutural das folhas ou agulhas ao longo do

processo da respectiva decomposição, utilizou-se uma amostra composta por cada amostragem, sendo cada determinação objecto de duas repetições. Determinaram-se os compostos solúveis em n-hexano e numa mistura de etanol e água (1:1), a lenhina de Klason, a lenhina solúvel, a celulose e a hemicelulose, segundo a metodologia utilizada por Browning (1967), Gallardo & Merino (1993) e Roland & Roberts (1994), descrita por Azevedo (1997) e Martins et al. (1999). Em síntese, seguiu-se um processo de extracção sequencial, num sistema de Soxhlet, sendo primeiro extraídas as ceras e gorduras e, em seguida, as resinas, taninos e açúcares que são os constituintes fundamentalmente extraídos pela mistura hidroalcoólica. Numa sub-amostra da amostra isenta de compostos solúveis extraiu-se a celulose por digestão a 100 °C com uma mistura ácida de ácido nítrico com ácido acético, e numa outra, de que previamente se removeu a proteína, determinou-se através de digestão com uma solução de pepsina em HCl, a lenhina insolúvel (Klason) e a lenhina solúvel. A hemicelulose foi obtida por diferença entre o somatório das massas correspondentes aos constituintes determinados e a massa da amostra inicial livre dos extractáveis.

Para determinação da taxa de decomposição seguiu-se o modelo exponencial negativo de Olson (Olson, 1963; Wieder & Lang, 1982), com recurso a programa Microsoft Excel 2003, adaptado a sistema Microsoft

Windows XP. Para observação das dinâmicas de nutrientes e de compostos orgânicos, utilizaram-se as massas remanescentes, seguindo a metodologia adoptada por Wesemael (1993).

No tratamento estatístico de parte dos resultados utilizou-se a análise de correlação recorrendo-se ao programa JMP, versão 5.01, adaptado ao sistema Windows XP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constituição inicial das folhas e agulhas

As folhas e agulhas das quatro espécies apresentavam teores idênticos de C orgânico (Quadro 4). Os teores de N e P eram muito mais elevados nas agulhas de PM (respectivamente 14,5 e 0,90 g kg⁻¹) e nas folhas de CS (respectivamente 12,1 e 0,94 g kg⁻¹) do que nas agulhas das outras espécies; assim, a razão C/N era muito menor nas primeiras (46,8 e 39,0 respectivamente em CS e PM) do que nas segundas (147,7 e 122,2 respectivamente em PP e PN). O teor máximo de Ca foi observado para as agulhas de PM (9,1 g kg⁻¹), o qual era muito maior do que o determinado nas folhas ou agulhas das outras espécies (2,9 a 5,9 g kg⁻¹). O teor mais elevado de Mg foi observado nas folhas de CS (3,0 g kg⁻¹), o dobro do valor mais próximo encontrado nas agulhas de PP (1,5 g kg⁻¹). Os teores observados enquadram-se nos reportados por Cortez *et al.* (2005) para

QUADRO 4 - Teor em C, N, P, Ca, Mg e K (g kg⁻¹) e razão C/N, nas folhas de CS e nas agulhas de PP PN e PM

Espécie	C	N	K	P	Ca	Mg	C/N
CS	565,6	12,1	3,8	0,94	3,8	3,0	46,8
PP	564,0	3,8	1,7	0,28	5,9	1,5	147,7
PN	569,9	4,7	0,8	0,34	2,9	0,8	122,2
PM	563,8	14,5	3,4	0,90	9,1	1,1	39,0

QUADRO 5- Teor (g kg⁻¹) em constituintes solúveis em n-hexano (SH) e em álcool e água (SA), em lenhina de Klason (LE_k), em lenhina solúvel (LE_s), em celulose (CL) e em hemicelulose (HM) e relações LE_k/N e holocelulose (HL)/LE_k, das folhas de CS e das agulhas de PP, PN e PM

Espécies	SH	SA	LE _k	LE _s	CL	HM	LE _k /N	HL/LE _k
	g kg ⁻¹							
CS	55,0	160,0	245,5	24,3	227,8	287,3	20,3	2,1
PP	77,0	95,0	272,1	18,1	273,9	264,0	71,2	2,0
PN	76,0	119,0	271,9	17,5	289,2	226,4	58,3	1,9
PM	53,0	384,0	296,9	13,1	182,0	71,1	20,5	0,9

agulhas de PP e por Martins *et al.* (2006), em estudo anterior relativo às características da folhada das mesmas espécies.

Dinâmica dos constituintes orgânicos

Para apreciação dos resultados relativos à perda de peso durante o processo de decomposição considera-se conveniente analisar a distribuição da precipitação ao longo do período de estudo, atendendo ao papel preponderante desta na lixiviação de elementos e constituintes orgânicos solúveis na fase inicial do processo. Para isso elaborou-se o Quadro 6 com a precipitação acumulada em cada momento de amostragem relativamente à data de instalação de cada dispositivo experimental.

Atendendo à importância da precipitação no processo de decomposição, embora os substratos não tenham sido incubados em simultâneo (CS e PP em 3 de Janeiro, PN em 6 de Abril e PM em 10 de Maio, todos em 1995), salienta-se que ocorreu precipitação em todos os casos entre as datas de instalação e as primeiras amostragens, com valores acumulados mais elevados em CS e PP do que em PN e PM até à amostragem número quatro, mas, verificando-se o inverso a partir daí.

A dinâmica dos constituintes orgânicos durante o processo de decomposição (Quadro 7 e Figura 1), mostra que as quantidades das substâncias solúveis decresceram forte-

mente durante a decomposição das folhas de CS (38,1 % e 29,2 %, respectivamente para SH e SA) e agulhas de PM (32,9 % e 13,7 %, para SH e SA), sendo menor para as agulhas de PP (41,5 % e 70,3 %) e de PN (53,9 % e 92,4 %). A hemicelulose decresceu acentuadamente nas folhas de CS (17,2 %), menos nas agulhas PP e PN (respectivamente 45,8 % e 51,1 %) e aumentou nas agulhas de PM (150,4 %).

QUADRO 6- Precipitação acumulada (mm) em cada data de amostragem desde a incubação das saquetas

Espécies	CS	PP	PN	PM
A1	275	275	123	113
A2	388	388	179	125
A3	501	501	321	251
A4	513	513	1207	1137
A5	654	654	1449	1379
A6	1540	1540	1700	1631
A7	1782	1782	2093	2024
A8	2034	2034	2507	2437
A9	2427	2427	2739	2669
A10	2841	2841	2973	2904
A11	3072	3072	3859	3789
A12	3307	3307	4328	4258
A13	4192	4192	-	-
A14	4661	4661	-	-

A lenhina e a celulose manifestaram pequena variabilidade, nomeadamente no caso das agulhas das espécies resinosas (100,4 %, 77,2 % e 97,6 % para a lenhina de

QUADRO 7 – Quantidade remanescente em compostos orgânicos (%) no final do período considerado para cada uma das quatro folhadas estudadas (CS, PP, PN e PM)

Espécie	nº dias	% Remanescente						
		SH	SA	LE _K	LE _S	CL	HM	HL
CS	518	38,13	29,24	63,21	44,88	65,49	17,18	38,54
PP	518	41,50	70,28	100,44	36,08	71,88	45,77	59,06
PN	425	53,92	92,43	77,17	53,46	83,20	51,13	69,12
PM	391	32,92	13,72	97,61	105,87	87,13	150,41	104,90

Klason e 71,9 %, 83,2 % e 87,1 % para a celulose, respectivamente para PP, PN e PM). A quantidade das substâncias solúveis apresentou uma tendência de decréscimo continuado ao longo da decomposição, desde o início do processo, excepto no caso das agulhas de PN, em que a partir da terceira amostragem se observa uma tendência de estabilização num valor próximo de 80 %.

A hemicelulose manifestou tendência idêntica, com excepção das agulhas de PM em que mostrou um acréscimo logo a partir

da primeira amostragem. A lenhina de Klason mostrou um decréscimo inicial nas agulhas de PM, aumentando e estabilizando posteriormente, enquanto nas folhas de CS e nas agulhas de PN decresceu de modo acentuado a partir respectivamente da quinta e quarta amostragens e nas agulhas de PP aumentou a partir da terceira amostragem, mantendo-se até final do período com valor superior ao inicial. A celulose apresentou uma tendência de acréscimo até à terceira amostragem em

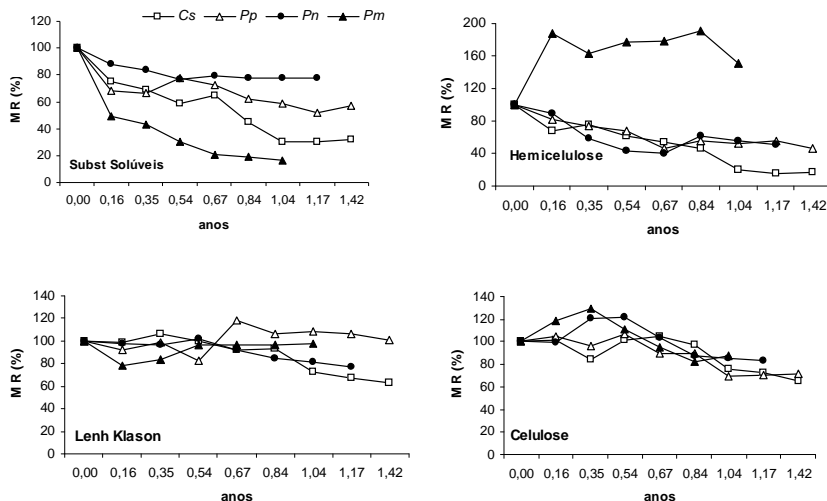


Figura 1 – Quantidade remanescente (MR) de substâncias solúveis em n-hexano e em álcool e água, hemicelulose, lenhina de Klason e de celulose durante a decomposição das folhas de CS e das agulhas de PP, PN e PM

PN e PM para decrescer a partir daí, enquanto nas espécies CS e PP se observa uma tendência de decréscimo a partir do início.

Este padrão de variação dos componentes orgânicos apresenta semelhanças com as observações de Hart & Firestone (1992) num estudo sobre a decomposição de agulhas de *Pinus ponderosa* Laws, em ambiente mediterrânico, em que a lenhina manteve valores próximos dos iniciais ao fim de dois anos de decomposição, a celulose acompanhou a perda de peso e atingiu no final do período cerca de metade da massa total, as substâncias solúveis e a hemicelulose decresceram rapidamente nos primeiros três meses, atingindo as primeiras cerca de metade da perda da massa total nos dois anos de estudo e a segunda manteve-se a partir daí relativamente constante.

Perda de peso e taxa de decomposição

Os resultados inerentes à dinâmica da perda de peso e à taxa de decomposição estão indicados na Figura 2 e no Quadro 8.

A variação observada na perda de peso, mostra que a instalação dos dispositivos em datas diferentes não deverá ter afectado o ritmo de decréscimo de peso. No final do estudo, o peso remanescente era de 28,4% nas folhas de CS e de 54,0 %, 44,0 % e 44,3 %, respectivamente nas agulhas de PP, PN e PM. O ritmo de perda de peso das folhas de CS e agulhas de PN foi ligeiramente mais acentuado até ano e meio após a incubação, enquanto o das agulhas de PP e PM mostrou uma tendência mais uniforme durante todo o período de estudo.

Tendo em conta a composição das folhas e agulhas e as perdas observadas nos respectivos compostos orgânicos, a perda de peso das folhas de CS parece estar muito dependente da perda em hemicelulose e em substâncias solúveis em álcool e água, enquanto a perda de peso das agulhas de PP e PN, deverá estar muito dependente também da perda em hemicelulose; os constituintes mais responsáveis pela perda de peso das agulhas de PM corresponderam às substâncias solúveis em álcool e água.

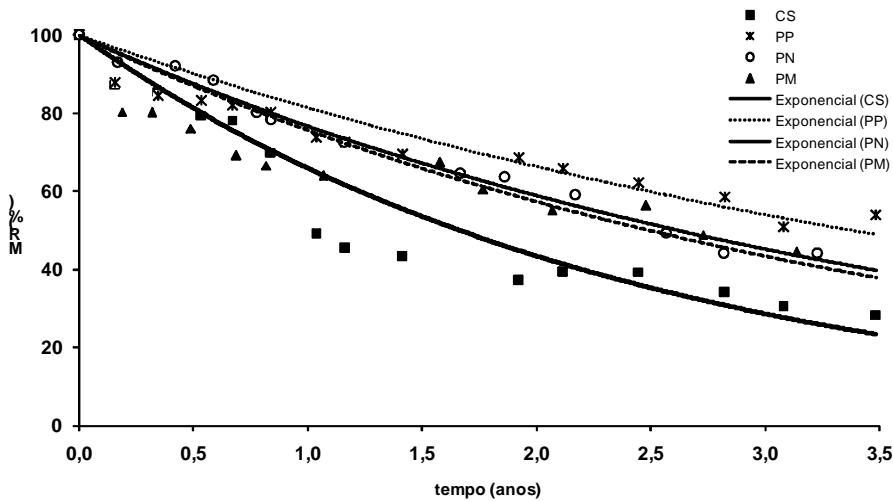


Figura 2 – Massa remanescente (MR) das folhas de CS e das agulhas de PP, PN e PM durante o período de estudo

QUADRO 8 – Regressões obtidas segundo o modelo exponencial negativo e respectivos valores das taxas anuais de decomposição (k) e de R² para as folhas de CS e as agulhas de PP, PN e PM, durante o primeiro ano e durante todo o período de estudo

Espécie	1º ano			Total do período		
	Função	k	R ²	Função	k	R ²
CS	$y = 105,45 e^{-0,60x}$	-0,60	0,73	$y = 85,98 e^{-0,35x}$	-0,35	0,80
PP	$y = 90,90 e^{-0,18x}$	-0,18	0,72	$y = 89,69 e^{-0,16x}$	-0,16	0,82
PN	$y = 100,44 e^{-0,27x}$	-0,27	0,91	$y = 100,55 e^{-0,27x}$	-0,27	0,89
PM	$y = 86,99 e^{-0,31x}$	-0,31	0,78	$y = 82,19 e^{-0,19x}$	-0,19	0,78

Observou-se ainda um bom ajustamento da perda de peso durante a decomposição das folhas e agulhas consideradas ao modelo exponencial negativo.

A taxa de decomposição média anual (k), para todo o período de estudo, decresceu sucessivamente das folhas de CS (-0,35) para as agulhas de PN (-0,27), PM (-0,19) e PP (-0,16). Os valores dessa taxa foram bastante mais elevados no primeiro ano para as folhas de CS e PM (respectivamente -0,60 e -0,31) ligeiramente mais elevado para as agulhas de PP (-0,18) e mantendo um valor igual no caso das agulhas de PN (-0,27).

A taxa de decomposição das folhas de CS estimada no presente estudo foi consideravelmente mais baixa do que a observada por Raimundo (2003) num souto nas imediações de Macedo de Cavaleiros, durante 821 dias (-0,49), o que se poderá atribuir ao facto de, neste sítio, para além de diferenças de fertilidade do solo, a temperatura média anual ser mais elevada e, como tal, mais favorável à decomposição de resíduos orgânicos. Em estudo realizado no Sul da Toscana em Cambissolos dístricos de arenitos metamorfozados e filitos, com 988 mm de precipitação média anual e médias das temperaturas máximas em Janeiro de 5,6 °C e em Julho 27,0 °C, Wesemael (1993), estimou durante o primeiro ano de decomposição de agulhas de *P. pinaster* uma taxa de decomposição anual da mesma ordem de

grandeza (k=-0,19) da determinada no presente estudo; porém, após 2,5 anos de incubação essa taxa foi menor (k=-0,12) do que no presente estudo (-0,16), o que se atribui a condições de humidade e temperatura (temperaturas muito baixas durante o inverno) menos favoráveis ao processo de decomposição do que no sítio de Vila Pouca. A taxa de decomposição estimada no final de um ano para as agulhas de PM (-0,31) foi cerca de metade da relatada num estudo sobre a mesma espécie no seu meio natural (-0,63) (Edmonds, 1980); a taxa anual estimada no final do período do presente estudo (-0,19) foi bastante inferior à determinada por Edmonds (1980) após dois anos de incubação (-0,44).

As diferenças observadas entre as folhas e agulhas estudadas estão em consonância com as diferenças de composição das mesmas. Com efeito, os valores da taxa anual de decomposição para as folhas de CS e agulhas de PP e PN orientam-se em sentido inverso aos teores de N (respectivamente, 12,1, 3,8 e 4,7 g kg⁻¹), e aos valores da razão lenhina de Klason/N, respectivamente 20,3, 71,2 e 58,3, e da razão C/N, respectivamente 46,8, 147,7 e 122,2, para as mesmas espécies, corroborando as observações de diversos autores (Gosz *et al.*, 1976; Edmonds, 1980; Stevenson & Cole, 1999; Ribeiro *et al.*, 2002). Porém, as agulhas de PM, em que o teor de N é mais elevado

(14,5 g kg⁻¹) e aquelas relações apresentam valores baixos (20,5 para LE_K/N e 39,0 para C/N), manifestaram uma taxa de decomposição (-0,19) mais baixa do que as agulhas de PN, o que poderá explicar-se pela maior estabilidade da quantidade de lenhina, celulose e hemicelulose nas agulhas da primeira; o diferente padrão observado no primeiro ano de estudo atribui-se ao facto das agulhas de PM apresentarem uma elevada perda de peso na fase inicial da decomposição devido à lixiviação de substâncias solúveis em n-hexano e em álcool e água.

Dinâmica de nutrientes durante a decomposição

As quantidades remanescentes dos nutrientes durante a decomposição das folhas ou agulhas (Quadro 9 e Figura 3) mostraram uma tendência geral de decréscimo, embora se possam considerar dois grupos distintos: por um lado o Ca, o Mg e o K, com decréscimos líquidos mais acentuados e, por outro, o N e o P, com decréscimos mais baixos ou apresentando acréscimos, consoante a natureza dos substratos.

No tocante ao primeiro grupo, ressalta que foram as folhas de CS que, no final do período de estudo, apresentavam a menor quantidade residual de Ca (29,6 % do inicial), enquanto as agulhas de PN, PM e PP

continham ainda, respectivamente, 38,9, 46,9 % e 60,1 % do Ca inicial. Quer dizer, a quantidade de Ca libertado durante o período de estudo, mostrou-se estreitamente correlacionada com a taxa de decomposição k (r = 0,96; p<0,05), o que evidencia, conforme o reportado por vários autores (Ribeiro *et al.*, 2002), que a libertação do Ca está na dependência da intensidade da actividade biológica dos resíduos em decomposição. A libertação do Mg, como se reporta geralmente na literatura (Waring & Schlesinger, 1985; Wesemael, 1993; Stevenson & Cole, 1999; Ribeiro *et al.*, 2002), foi mais rápida do que a do Ca no caso das folhas de CS (82,1%) e das agulhas de PP (67,3%) e de PN (74,8%); porém, no caso das agulhas de PM, ao invés da tendência geral, o Mg foi libertado em menor extensão (40,7 %) do que o Ca (53,2%), para o que não se dispõe de explicação plausível. O K foi libertado em muito maior extensão do que Ca, e em proporção semelhante ao Mg, das folhas de CS (82,7 %) e das agulhas de PP (65,4%) e PM (69,9%); no entanto, a sua libertação das agulhas de PN (35,2%) ocorreu em menor proporção do que a do Ca e do Mg, o que, sendo contrário aos resultados reportados na literatura (Edmonds, 1980; Hart & Firestone, 1992; Ribeiro *et al.*, 2002; Raimundo, 2003), necessita da necessária comprovação.

QUADRO 9 – Quantidade remanescente de nutrientes (%) no final do período de decomposição e valores da razão C/N no início do processo (C/N in) e no final do mesmo (C/N fin) para as folhas de CS e agulhas de PP, PN e PM

Espécie	Dias	% Remanescente						C/N in	C/N fin
		C	N	Ca	Mg	K	P		
CS	1124	25,05	41,06	29,55	17,88	17,28	32,84	46,8	28,6
PP	1124	43,64	121,21	60,05	32,69	34,46	104,05	147,7	53,2
PN	1031	32,88	85,29	38,85	25,18	64,82	63,83	122,2	47,1
PM	997	48,26	72,21	46,88	59,30	30,14	58,78	39,0	26,1

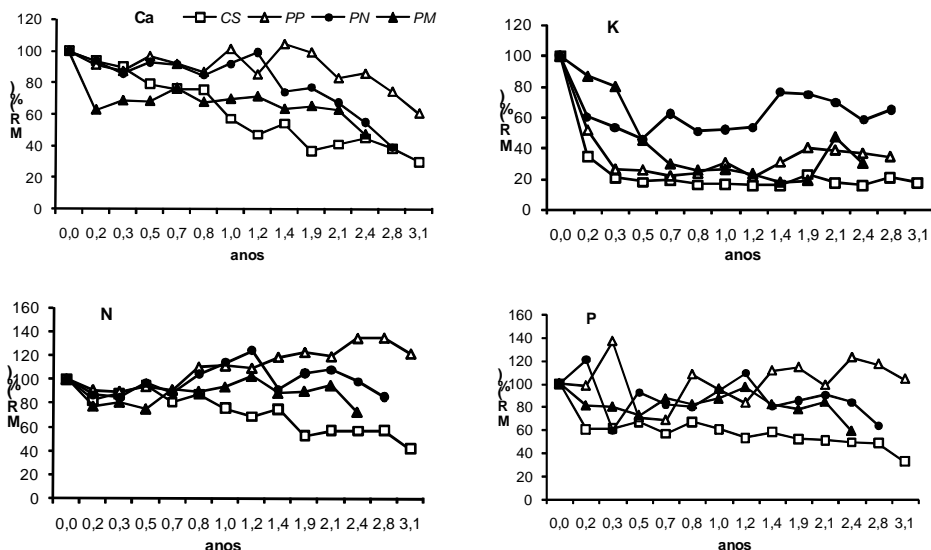


Figura 3 – Quantidade remanescente (MR) de Ca, K N e P durante a decomposição de folhas de CS e agulhas de PP, PN e PM

No tocante ao segundo grupo, sublinha-se que as folhas de CS apresentaram o decréscimo mais acentuado de N (58,9 %) do que o observado para as agulhas de PM (27,8 %) e de PN (14,7 %); a libertação de N destas agulhas ocorreu sobretudo após se terem completado dois anos de incubação (figura 3). No caso das agulhas de PP, ao contrário das anteriores, não houve libertação de N, observando-se um aumento absoluto deste nutriente, sendo a sua quantidade no final do estudo 121,2 % da quantidade inicial. De um modo geral, verifica-se o padrão observado em estudos de decomposição, isto é, a libertação de N é tanto menor quanto menor for o seu teor nos substratos (Gosz *et al.*, 1976; Waring & Schlesinger, 1985; Stevenson & Cole, 1999; Ribeiro *et al.*, 2002). Assim, como a libertação de N se processou a uma taxa inferior à da perda de peso (Quadro.8, Figuras 2 e 3.), a razão C/N decresceu em todos os resíduos considerados, mas mais acentuadamente nas agulhas

de PP e PN, que apresentavam teores iniciais de N bastante mais baixos do que as agulhas de PM e folhas de CS.

A dinâmica do P foi semelhante à observada para o N, pois as respectivas quantidades remanescentes apresentaram-se estreitamente correlacionadas ($r=0,99$; $p<0,01$). Assim, as folhas de CS e as agulhas de PM libertaram o P em maior proporção (respectivamente 67,2 e 41,2 %) do que as agulhas de PN (36,2%), cujo teor inicial de P era inferior ao das primeiras (Quadro 4). As agulhas de PP, que apresentavam o menor teor de P ($0,28 \text{ g kg}^{-1}$), tal como observado para o N, apresentavam no termo do estudo uma quantidade de P superior à inicial (104,1%).

Dos resultados da dinâmica dos nutrientes, destaca-se um comportamento diferente das folhas da espécie autóctone (CS), que apresentaram, no final do período de estudo, valores remanescentes de todos os nutrientes substancialmente mais baixos do que as

agulhas das outras espécies consideradas. Essa rápida liberação de nutrientes segue, aliás, as tendências observadas em estudo similar, realizado num soto da região de Macedo de Cavaleiros (Raimundo, 2003). A mais rápida reciclagem de nutrientes das folhas de CS atribui-se à elevada concentração de alguns nutrientes (nomeadamente do N e do P) e, também por isso, à elevada taxa de decomposição que as mesmas apresentam, comparativamente às agulhas consideradas.

As agulhas da espécie considerada autóctone (PP) pautaram-se pela imobilização de N e P e lenta liberação de Ca, diferenciando-se das agulhas das espécies exóticas (PM, PN). Este comportamento é semelhante ao observado por Wesemael (1993) em estudo desenvolvido sobre a decomposição de folhadas de diferentes espécies ao longo de 2,5 anos no sul da Toscana, bem como por Hart & Firestone (1992) num estudo com agulhas de *Pinus ponderosa*, realizado na Califórnia. A imobilização de N e de P nas agulhas de PP está em consonância com as elevadas razões C/N (53,2) e C/P (838,9) ainda observadas no termo do estudo, e que são consideradas pouco apropriadas para a clara mineralização desses nutrientes dos resíduos orgânicos (Gosz *et al.*, 1976; Waring & Schlesinger, 1985; Stevenson & Cole, 1999), constituindo também forte limitação à decomposição, como se comprova pelo facto das agulhas de PP apresentarem uma taxa de decomposição menor do que as outras agulhas consideradas.

A dinâmica de nutrientes manifestada pelas agulhas de PM aproximou-se bastante da reportada em estudos das mesmas, na sua área de origem (Edmonds, 1980). As agulhas de PM apesar de apresentarem um teor de N e de P semelhante às folhas de CS apresentaram uma taxa de liberação destes elementos mais baixa do que estas; além disso, com teores muito mais elevados des-

ses nutrientes do que as agulhas de PN, as agulhas de PM apresentaram uma taxa de liberação de N e P pouco mais rápida do que a observada para as agulhas de PN. Este facto atribui-se à elevada concentração de lenhina e à elevada razão lenhina/N das agulhas de PM, o que também está em linha com uma taxa de decomposição semelhante à estimada para as agulhas de PN.

CONCLUSÕES

O teor de nutrientes distinguiu, por um lado, as folhas de CS e agulhas de PM, com maior teores em N e P (e razões C/N e C/N mais baixas), do que as agulhas de PN e PP. As agulhas de PM mostraram teores muito mais elevados de compostos solúveis em álcool e água, também maior teor de lenhina Klason e, ao contrário, menores teores em holocelulose do que as restantes espécies; as folhas de CS apresentaram o menor valor em lenhina de Klason e o mais elevado em hemicelulose. As taxas de decomposição decresceram segundo a ordem CS>PN>PM>PP, sendo bastante mais elevadas durante o primeiro ano do que para todo o período de estudo, no caso das folhas de CS e agulhas de PM, o que se atribui à acentuada perda de peso na fase inicial do estudo, devido à remoção dos constituintes solúveis e transformação da hemicelulose. O K, Ca e Mg decresceram durante o processo de decomposição de todos os substratos considerados, não sendo possível definir uma grande diferenciação entre eles. No caso do N e do P, a sua liberação dependeu em parte dos seus teores iniciais nos resíduos, sendo mais elevada naqueles em que os teores eram mais elevados; no caso extremo das agulhas de PP, com baixíssimos teores daqueles elementos, observou-se o aumento líquido dos mesmos. O elevado teor de lenhina das agulhas de PM parece contribuir

para reduzir a sua taxa de decomposição e a velocidade de libertação de N e P. Apesar das diferenças notadas para o N e o P, a sua libertação ocorrerá a longo prazo, dado a razão C/N diminuir acentuadamente com o decorrer da decomposição, sobretudo nas espécies com teor inicial em N mais baixo (PN e PP).

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.
- Binkley, D. 1986. *Forest Nutrition Management*. John Wiley & Sons, New York.
- Browning, B. L. 1967. *Methods of Wood Chemistry*, Vol. II, pp. 785-795. Institute of Paper Chemistry. Appleton, Wisconsin. Interscience Publishers.
- 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.
- Edmonds, R. L. 1980. Litter decomposition and nutrient release in Douglas-fir, red alder, western hemlock, and Pacific silver fir ecosystems in western Washington. *Can. J. For. Res.*, **10**: 327-337.
- Entry, J. A. & Backman, C. B. 1995. Influence of carbon and nitrogen on cellulose and lignin degradation in forest soils. *Can. J. For. Res.*, **25**: 1231-1236.
- Fischer, R. F. & Binkley, D. 2000. *Ecology and Management of Forest Soils* (3rd Edition). John Wiley & Sons, New York.
- Fonseca, F. M. S. 1997. *Implicações do Tipo de Coberto Florestal nos Horizontes Orgânicos e Minerais do Solo: Aplicação a Quatro Povoamentos na Serra da Padrela, Norte de Portugal*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Florestais. UTAD, Vila Real.
- Gallardo, A. & Merino, J. 1993. Leaf decomposition in two Mediterranean ecosystems of substrate quality. *Ecology*, **74**: 152-161.
- Gosz, J. R., Likens, G. E. & Bormann, F. H. 1976. Organic matter and nutrient dynamics of the forest floor in the Hubbard Brook forest. *Oecologia*, **22**: 305-320.
- Hart, S. C. & Firestone, M. K. 1992. Decomposition and nutrient dynamics of ponderosa pine needles in a Mediterranean-type climate. *Can. J. For. Res.*, **22**: 306-314.
- Hendricks, J.J. & Boring, L.R. 1992. Litter quality of native herbaceous legumes in a burned pine forest of the Georgia Piedmont. *Can. J. For. Res.*, **22**: 2007-2010.
- <http://snirh.inag.pt/> – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, Instituto Nacional da Água.
- 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. *For. Ecol. Manag.*, **144**: 113-127.
- 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.
- Martins, A., Azevedo, S. & Carvalho, L. 1999. Dynamics of leaf litter structural compounds in *C. sativa* and *P. pinaster*

- forest ecosystems during the decomposition process: Interactions with soil organic matter and nutrient cycling. *Acta Hort.*, **494**:161-166.
- Martins, A., Coutinho, J., Costa S., Fonseca, F & Madeira M. 2006. A folhada de quatro povoamentos florestais no Norte de Portugal: Produção e concentração e quantidade de nutrientes devolvidos ao solo. *Revista de Ciências Agrárias* (em publicação).
- 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, 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.
- Olson, J.S., 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological system. *Ecology*, **44**: 322-441.
- 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.
- Roland, A. P. & Roberts, Y. D. 1994. Lignin and cellulose fractionation in decomposition studies using acid-detergent fibre methods. *Comm. Soils Plant Anal.*, **25**: 268-277.
- 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. *Annal. Sci. For.*, **52**: 393-399.
- Stevenson, F. J. and Cole, M. A. 1999. *Cycles of Soil; Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulphur and Micronutrients*. Second Edition. John Wiley and Sons, New York.
- Waring, R. H. & Schlesinger, W. H. 1985. *Forest Ecosystems; Concepts and Management*. Academic Press. London.
- Wesemael, B. Van 1993. Litter decomposition and nutrient distribution in humus profiles in some mediterranean forests in southern Tuscany. *For. Ecol. Manag.*, **57**: 99-114.
- Wieder, R.K. & Lang, G.E. 1982. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litterbags. *Ecology*, **63**: 1636-1642.