

Contributo para a melhoria de solos marginais destinados a pastagens pela aplicação de lama residual urbana, sem riscos ambientais

Contribution to the improvement of degraded soils under pastures through sewage sludge application, without environmental risks

M. G. Serrão¹, H. Domingues¹, M. Fernandes¹, J. Martins¹, F. Pires¹,
I. Saraiva¹, P. Fareleira¹, N. Matos¹, E. Ferreira², A. M. Campos³,
C. Horta³ & A. Dordio⁴

RESUMO

A aplicação de lamas residuais urbanas (LRU) aos solos destinados a pastagens, ainda escassamente utilizada no País, contribui, com frequência, para melhorar os níveis de matéria orgânica (M.O.) e de alguns nutrientes das plantas e para diminuir o risco de erosão, pelo aumento da cobertura vegetal. Todavia, a presença eventual de níveis elevados de metais pesados, compostos orgânicos poluentes e organismos patogénicos nas LRU condiciona a dose a aplicar e torna imprescindível o controlo desses factores nos solos aos quais foram incorporadas. Também o teor elevado de azoto que por vezes contém pode inibir a actividade simbiótica do rizóbio, prejudicando a sobrevivência das leguminosas na pastagem.

Neste trabalho, examinaram-se a produção de matéria seca, a composição florística e o teor de cobre (Cu) na biomassa vegetal, em dois anos consecutivos de um

ensaio com uma mistura pratense semeada para cortes sucessivos, instalado, no Outono de 2001, num Luvissole Háplico de baixa fertilidade, em Mértola, ao qual foi aplicado LRU secundária proveniente da ETAR de Évora, com um elevado teor de Cu. No mesmo período, apreciou-se a evolução, na camada superficial do solo, dos teores de M.O., de alguns macronutrientes e do Cu extraível por água régia. Avaliou-se, ainda, a grandeza da população rizobiana que nodula o trevo (*Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii*) e procedeu-se à prospecção de indicadores de contaminação fecal (bactérias coliformes e enterococos). No ano seguinte à aplicação da LRU, examinou-se a evolução, no solo, de 11 compostos bifenilopoliclorados (PCBs), 13 pesticidas organoclorados e 16 hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (PAHs).

O ensaio, de blocos casualizados, teve como modalidades três níveis de LRU ($L_0 = 0$, $L_1 = 12$ e $L_2 = 24$ t/ha) e duas repetições. A mistura semeada incluiu azevém

¹ Estação Agronómica Nacional, Quinta do Marquês, 2784-505 Oeiras, e-mail: gserrao@netcabo.pt;

² Estação Florestal Nacional, Quinta do Marquês, 2784-505 Oeiras; ³ Direcção Regional de Agricultura do Alentejo, Quinta da Malagueira, Apartado 83, 7001 Évora; ⁴ Consultor científico

anual, panasco, cinco espécies de trevo, bisserula e serradela.

Além de muito maiores produções de biomassa, por melhoria do teor de fósforo “assimilável” no solo, a LRU não provocou poluição do solo, um ano após a sua aplicação, quanto aos compostos orgânicos pesquisados, nem aumentou a flora microbiana patogénica, nos dois ciclos culturais. Contudo, a maior dose de LRU aumentou a concentração de Cu extraível por água régia no solo (0-10 cm) para níveis superiores ao máximo legislado em Portugal (100 mg kg^{-1}) e reduziu apreciavelmente a população de rizóbio, no 1º ciclo cultural e a proporção de leguminosas, no 2º ciclo. Os teores foliares de Cu foram muito inferiores ao nível máximo tolerável para a dieta de pequenos ruminantes (25 mg kg^{-1}), o que sugere, nitidamente, que da aplicação da LRU não deverão ocorrer efeitos nocivos para a nutrição animal. Face aos efeitos indesejáveis do nível mais elevado de LRU, a dose L_1 (12 t/ha) seria a recomendável.

ABSTRACT

Sewage sludge (SS) application to soils reserved for pastures, still scarcely used in the country, often contributes to improve organic matter (O.M.) and some plant nutrient contents and to reduce the erosion risk, by increasing the soil vegetation cover. However, the occasional occurrence in SS of high levels of heavy metals, organic pollutant compounds, and pathogenic organisms restrict the SS rate to apply and makes indispensable their control in the soils to which they were applied. Also, the high nitrogen concentration often present in SS can inhibit the symbiotic rhizobium activity, with sequent damage in the leguminous species survival in grassland.

In this work, dry matter yield, floristic composition, and copper (Cu) concentration in the plant biomass were evaluated, in two successive years of a field experiment with a sown pasture mixture, established in a poor Haplic Luvisol in the Mértola region. A biologically treated SS from Évora, rich in Cu, was applied. The evolution in the topsoil of the O.M., some plant nutrients, and aqua regia extractable Cu concentrations, was also examined for the same period. The magnitudes of the Rhizobium population (*Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii*) and of some indicators of faecal contamination (coliform bacteria and enterococcus) were evaluated too. Moreover, the evolution in the soil superficial layer of 11 polychlorinated biphenyls (PCBs), 13 organ chlorine pesticides, and 16 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) concentrations was examined for the 1st year following the SS application.

The experiment, with a randomised block design, had three SS application rates ($L_0 = 0$, $L_1 = 12$, and $L_2 = 24$ t/ha) as treatments and two replicates. The sown mixture consisted of Italian ryegrass, cocksfoot, five clover species, bird's foot, and biserrula.

Besides much higher biomass production, induced by higher soil available phosphorus concentration, the added SS neither polluted the soil with the analysed organic compounds, one year after application, nor increased the pathogenic microbial flora in two consecutive years. However, at the highest SS rate, soil aqua regia extractable Cu (0-10 cm depth) exceeded the maximum Portuguese legislated level in soil (100 mg kg^{-1}), the rhizobium population was also reduced at the beginning of the 1st growing season, and legume percentage decreased at the 2nd growing season. The plant Cu concentrations were

much lower than the maximum tolerable levels (25 mg kg^{-1}) for the small ruminant's diet, strongly suggesting that the SS application will not have damaging effects on the animal nutrition. Due to the undesirable effects of the L_2 application rate, the L_1 rate (12 t/ha) would be recommended for fertilizer purposes.

INTRODUÇÃO

Em vastas áreas na região do Alentejo com riscos potenciais de desertificação, nomeadamente, no concelho de Mértola, existem solos cuja degradação urge reduzir ou prevenir (Roxo, 1994). Estes solos, no geral, com baixos níveis de matéria orgânica (M.O.) e de alguns nutrientes das plantas, foram, ao longo de muitos anos, submetidos incorrectamente à cultura cerealífera e sujeitos à erosão hídrica, sendo actualmente utilizados, apenas, como suporte de pastagens naturais de reduzidas produção e valor nutritivo, na alimentação de ovinos e caprinos.

Na última década, tem-se assistido, também, ao acréscimo apreciável do número de animais do gado bovino e ovino, bem como da carga animal na região do Alentejo, (MODAA, 1998), com o consequente aumento da procura de alimentos, nomeadamente em sistemas de pecuária extensiva.

Por outro lado, é cada vez mais premente, em termos ambientais, dar um destino útil às lamas residuais urbanas (LRU) do País, no geral, com teores apreciáveis de M.O., cuja acumulação tem aumentado em ritmo muito acelerado. Em 1990, produziam-se

20 t/dia de LRU, estimando-se que os quantitativos alcançariam 160 t/dia em 2005 (Mata & Pássaro, 1993). Porém, já em 2002, esta estimativa tinha sido supera-

da, pois foram produzidas cerca de 356 t/dia de LRU (Costa, 2003). Todavia, a presença eventual nas LRU de níveis elevados de metais pesados e compostos orgânicos poluentes, como os compostos bifenilospoliclorados (PCBs), pesticidas organoclorados e hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (PAHs), bem como de organismos patogénicos (Gerba, 2002), condiciona a dose das LRU a aplicar e torna imprescindível o controlo desses factores nos solos aos quais foram incorporadas. Também o elevado teor de azoto (N), que por vezes contém, pode inibir a actividade simbiótica do rizóbio, prejudicando a sobrevivência das leguminosas na pastagem (Ferreira & Castro, 2002).

Tendo como objectivo contribuir para a resolução destes problemas, têm sido realizados no País, desde 1990, vários estudos envolvendo a aplicação de LRU em solos alentejanos de baixa fertilidade vocacionados para pastagens. Referem-se os de Domingues (1999) e Domingues *et al.* (2001), pela maior amplitude de linhas de investigação neles incluídas e pela indicação de outros trabalhos científicos nacionais.

Neste trabalho, apresentam-se, de forma integrada, alguns dos principais resultados de natureza agronómica e ambiental obtidos em dois anos consecutivos de um ensaio no Concelho de Mértola, com uma consociação pratense semeada, em que foi aplicada a LRU de tratamento secundário da ETAR de Évora, com um elevado teor de cobre (Cu). Examinam-se parâmetros vegetais (produção e composição florística da biomassa) e parâmetros no solo [teores de M.O., N total, fósforo (P) e potássio (K) extraíveis pelo método de Egnér-Riehm, cationes de troca, Cu extraível por água régia, população rizobiana e indicadores de contaminação fecal por bactérias entéricas patogénicas (n.º de bactérias coliformes

fecais e enterococos)]. Agregam-se, ainda, os principais resultados referentes aos teores foliares de Cu da consociação nos dois primeiros ciclos culturais (Serrão *et al.*, 2006) e à evolução, na camada superficial do solo, de 11 PCBs, 13 pesticidas organoclorados e 16 PAHs, no ano seguinte à aplicação da LRU (Serrão *et al.*, 2005). Visou-se, assim, retirar ilações consistentes em relação a efeitos benéficos e nocivos dos níveis utilizados daquela LRU, para o solo e biomassa vegetal, tendo presente a necessidade de preservar a saúde dos pequenos ruminantes.

MATERIAL E MÉTODOS

Sistema experimental

O ensaio, instalado no Outono de 2001, teve um delineamento experimental de blocos casualizados, com três modalidades de fertilização e duas repetições. As modalidades de fertilização foram três níveis ($L_0 = 0$, $L_1 = 12$ e $L_2 = 24$ t/ha) da LRU da ETAR de Évora, aplicada uma única vez, no início do ensaio.

A incorporação da LRU foi realizada na camada superficial do solo (até cerca de 20 cm). Os detalhes da preparação do resíduo, antes da aplicação ao solo, a composição botânica e a densidade de sementeira da mistura de espécies foram indicados no trabalho já referido (Serrão *et al.*, 2005). A mistura integrou azevém anual (*Lolium multiflorum*), panasco (*Dactylis glomerata*), cinco espécies de trevo (*Trifolium incarnatum*, *Trifolium michelianum*, *Trifolium resupinatum*, *Trifolium subterraneum* e *Trifolium vesiculosum*), bisserula (*Bisserula pelecinus*) e serradela (*Ornithopus sativus*). As sementes utilizadas foram inoculadas com *Rhizobium* spp. e peletizadas.

No decurso dos dois anos hidrológicos

(2001/2002 e 2002/2003), a que se referem os ciclos culturais da mistura pratense semeada em apreciação, pesquisaram-se, através da Internet, os valores das precipitações mensais que ocorreram no local do ensaio (Quadro 1), disponibilizados pelo Serviço Nacional de Informação de Recursos Hídricos do Instituto Nacional da Água, em relação à Estação Meteorológica do Álamo.

QUADRO 1 - Precipitação média mensal

Mês	2001	2002	2003
Janeiro	-	55,0	35,3
Fevereiro	-	9,8	44,3
Março	-	76,8	28,1
Abril	-	60,7	97,5
Mai	-	6,7	8,0
Junho	-	0,9	0,0
Julho	-	0,0	0,8
Agosto	-	0,0	0,0
Setembro	61,9	90,2	-
Outubro	68,4	107,0	-
Novembro	18,6	70,0	-
Dezembro	64,0	84,5	-

Precipitação total - 2001/2002: 423 mm; 2002/2003: 566 mm.

Solo e LRU

Na zona onde o ensaio foi instalado, com um declive aproximado de 15%, o solo classifica-se como Luvisolo Háplico (Lvha), de acordo com a classificação do ISSS-ISRIC-FAO (1998). Apresenta uma textura franco-arenosa na camada superficial, com bastante a elevada pedregosidade, quer à superfície, quer ao longo do perfil.

No início do ensaio, a camada superficial do solo mostrava-se pouco ácida ($5,5 < \text{pH} < 6,6$) e com teores muito baixos ($< 11 \text{ mg kg}^{-1}$) de P Egnér-Riehm (Almeida &

Balbino, 1960), face às necessidades nutricionais de várias culturas, como os cereais de Inverno (Quadro 2).

QUADRO 2 - Algumas características do solo da área do ensaio

Característica	Prof. (cm)	
	0 - 10	10 - 20
Textura	Franco-arenosa	
pH (H ₂ O)	5,8	5,8
M.O. (g kg ⁻¹)	23,6	14,4
N total (g kg ⁻¹)	1,76	0,78
P Egnér-Riehm (mg kg ⁻¹)	9,2	2,2
K Egnér-Riehm (mg kg ⁻¹)	77	49
Ca troca (cmol _c kg ⁻¹)	4,2	3,8
Mg troca (cmol _c kg ⁻¹)	1,7	1,8
Cu água régia (mg kg ⁻¹)	11,5	11,0

O teor de M.O. do solo era médio (20-30 g kg⁻¹) e baixo (5-20 g kg⁻¹) respectivamente, na camada de 0-10 cm e de 10-20 cm (Costa, 1979). O teor de Mg de troca era “Alto” (> 1 cmol_c kg⁻¹) para várias culturas (Bolton, 1972). O teor de Cu extraível por água régia era inferior ao valor – limite (100 mg kg⁻¹) admitido para os solos com pH (H₂O) entre 5,5 e 7,0, segundo a legislação portuguesa que regula a aplicação

das LRU aos solos agrícolas (Decreto-Lei n.º 118/2006).

A LRU tinha uma humidade baixa, um nível de acidez próximo de pH 6,0 e um teor de M.O. inferior ao valor mínimo (500 g kg⁻¹) exigido pela Norma Portuguesa 1048-2 (1990) para que o resíduo seja classificado como adubo orgânico (Quadro 3). Entre os metais pesados analisados, apenas o teor de Cu ocorreu com um teor superior ao valor - limite (1000 mg kg⁻¹) estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 118/2006.

As concentrações totais dos PCBs (5175 µg kg⁻¹), pesticidas organoclorados (≈ 3744 µg kg⁻¹) e PAHs (≈ 130 µg kg⁻¹) na LRU (Serrão *et al.*, 2005), estavam incluídas nos intervalos de concentrações que podem ocorrer nestes resíduos, respectivamente de 1000-20000 µg kg⁻¹, “poucos mg kg⁻¹” e 1-10 mg kg⁻¹ (Smith, 1996), sendo vestigiais os teores dos PAHs detectados.

As concentrações totais dos PCBs (5175 µg kg⁻¹), pesticidas organoclorados (≈ 3744 µg kg⁻¹) e PAHs (≈ 130 µg kg⁻¹) na LRU (Serrão *et al.*, 2005), estavam incluídas nos intervalos de concentrações que podem ocorrer nestes resíduos, respectivamente de 1000-20000 µg kg⁻¹, “poucos mg kg⁻¹” e 1-10 mg kg⁻¹ (Smith, 1996), sendo vestigiais os teores dos PAHs detectados.

QUADRO 3 - Algumas características da Lama Residual Urbana

Característica		Característica	
Humidade (%)	14,3	Mg total (g kg ⁻¹)	3,26
pH (H ₂ O)	5,8	Cd água régia (mg kg ⁻¹)	0,89
M.O. (g kg ⁻¹)	196	Cr água régia (mg kg ⁻¹)	28,7
N total (g kg ⁻¹)	17,2	Cu água régia (mg kg ⁻¹)	2042
C/N	6,6	Ni água régia (mg kg ⁻¹)	43,5
P total (g kg ⁻¹)	5,67	Pb água régia (mg kg ⁻¹)	56,4
K total (g kg ⁻¹)	1,29	Zn água régia (mg kg ⁻¹)	596
Ca total (g kg ⁻¹)	22,8		

Amostragens

A produção de matéria seca corrigida foi avaliada, por amostragem, em duas épocas (Fevereiro e Junho de 2002 e Março e Maio de 2003). Cada talhão do ensaio foi dividido em quatro sub-talhões, efectuando-se 4 amostragens por sub-talhão (área de 0,125 m²/amostra), a que se seguiu um corte mecânico da vegetação remanescente.

Visando o estudo da evolução de alguns indicadores da fertilidade do solo e do possível efeito poluidor com Cu da LRU na camada de solo com 20 cm de espessura, em dois anos de ensaio, colheram-se, em cada talhão, oito sub-amostras, a duas profundidades (0-10 e 10-20 cm), antes da aplicação do resíduo na camada superficial do solo (início de Outubro de 2001) e após o 1º e 2º ciclos culturais da consociação (Outubro de 2002 e Setembro de 2003).

Para a prospecção de indicadores de contaminação do solo com bactérias fecais provenientes da LRU e comparação entre as modalidades do ensaio, efectuaram-se amostragens da camada superficial do solo (0-4 cm), em 4 períodos sucessivos de Verão e Inverno, com início em Julho de 2002 (cerca de 9 meses após a aplicação da lama), seguindo-se Março de 2003, Julho de 2003 e Novembro de 2003, que foram realizadas em transecto diagonal em cada talhão, num mínimo de três amostras. A amostragem de Março de 2003 não incluiu os talhões referentes à modalidade L₁, devido a excesso de humidade no solo, na respectiva área.

Métodos analíticos

As amostras de material vegetal colhidas para avaliação da produção de matéria seca, após pesagem, foram secas em estufa de ventilação forçada a 65°C, durante 24 horas, e moídas (< 0,5 mm), determinando-se o

teor de humidade a 100-105°C.

A análise florística da consociação, que antecedeu a amostragem de material vegetal, foi realizada por avaliação visual da percentagem de área coberta, em 1 m² de cada talhão, pelas plantas espontâneas agrupadas por Famílias em “Gramíneas”, “Leguminosas” e “Outras” (dominantemente Crucíferas e Compostas) e, por outro lado, pelas plantas semeadas (“Trevo + Serradela + Bisserrula” e “Azevém + Panasco”).

Após composição, em laboratório, das amostras vegetais moídas provenientes de cada sub-talhão, determinaram-se os teores de Cu foliares por digestão nitroperclórica (Ulrich *et al.*, 1959), seguida de doseamento nos extractos por espectrofotometria de absorção atómica com chama.

As amostras de terra colhidas para análise físico-química foram secas ao ar, desterroadas, crivadas para obtenção de terra fina (partículas de ϕ médio <2 mm) e analisadas quanto aos teores de M.O. total, N total, P e K extraíveis pelo método de Egnér-Riehm, e cálcio (Ca), magnésio (Mg), K e sódio (Na) de troca (Serrão *et al.*, 2005) e de Cu extraível por água régia (ISO 11466).

Os métodos utilizados na análise química de uma amostra composta de LRU, colhida para o cálculo dos níveis a usar no ensaio e para a caracterização físico-química, que incluiu as concentrações dos metais pesados cádmio (Cd), crómio (Cr), Cu, níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) extraíveis por água régia e de 11 PCBs, 13 pesticidas organoclorados e 16 PAHs, estão também indicados em Serrão *et al.* (2005). A nomenclatura e concentrações dos compostos orgânicos poluentes pesquisados na LRU, bem como os métodos utilizados para a comparação dos valores de concentração dos compostos poluentes no solo, antes da aplicação do resíduo (Outubro de 2001) e depois do 1º ciclo cultural da consociação (Outubro de 2002), também se encontram

descritos no mesmo trabalho.

A prospecção laboratorial de bactérias coliformes e enterococos no solo incidiu em, pelo menos, seis sub-amostras/talhão. A detecção dos indicadores seleccionados foi efectuada por métodos convencionais (inoculação das amostras em meios de cultura selectivos, incubação e observação dos crescimentos resultantes). Os meios de cultura selectivos foram os seguintes: a) Bacto Violet Red Bile Agar, da Difco (para bactérias coliformes); b) Bacto Levine Eosine Methylene Blue Agar, da Difco (para coliformes fecais) e c) Bacto Enterococcus Agar, da Difco (para estreptococos fecais). Na estimativa dos níveis populacionais dos indicadores, utilizaram-se as medianas dos valores obtidos nas várias sub-amostras de cada talhão.

Para o estudo do efeito da LRU na dimensão das populações rizobianas no solo que nodulam os trevos (*Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii*), colheram-se assepticamente amostras na camada superficial do solo (0-10 cm), após a aplicação da LRU (Outubro de 2001) e no início do 2º ciclo cultural (Outubro de 2002). As amostras foram conservadas no frio (4°C) durante cerca de uma semana até à avaliação das populações rizobianas. Esta foi realizada através do “Número Mais Provável”

(NMP), pelo método indirecto de infecção de plantas (Brockwell, 1963), utilizando-se o trevo subterrâneo cv. Clare como planta hospedeira. As plantas cresceram durante 6 semanas, em condições controladas de temperatura (21°C/12 horas de período de luz e 18°C/12 horas de período escuro) e de luz (250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Métodos estatísticos

Os valores dos indicadores de fertilidade do solo e as concentrações de cobre extraível por água régia e de cobre no material vegetal foram sujeitos a análise de variância, utilizando o Programa STATGRAPHICS. Adoptou-se, ainda, o teste de Fisher LSD ($P \leq 0,05$), para comparação de médias, através do Programa MSTAT 4.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros vegetais

A produção total de matéria seca cresceu significativamente com a aplicação dos níveis L_1 e L_2 de LRU (Figura 1), sendo o maior valor (≈ 5900 kg/ha) alcançado em 2002, com a dose L_2 do resíduo.

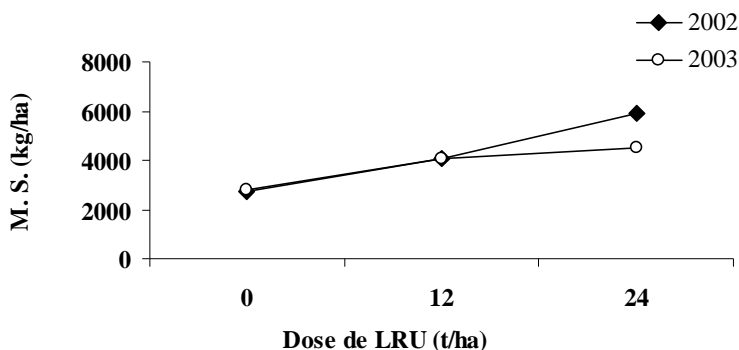
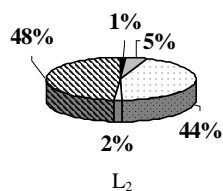
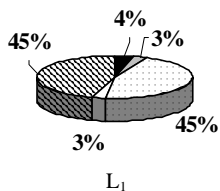
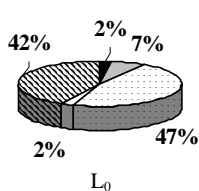
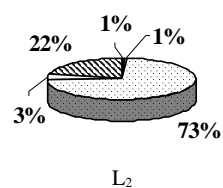
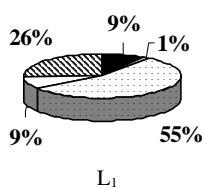
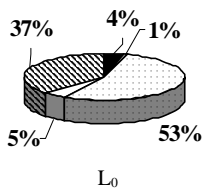


Figura 1 - Produção total de matéria seca em dois anos de ensaio.

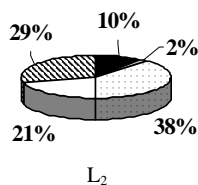
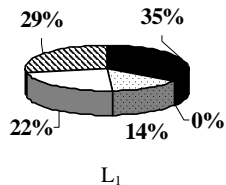
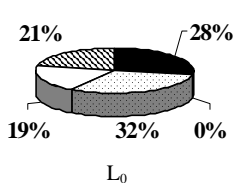
1ª época de 2002 (Fevereiro)



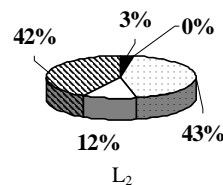
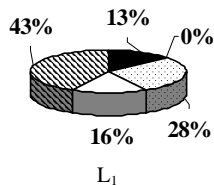
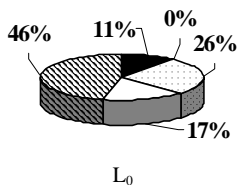
2ª época de 2002 (Junho)



1ª época de 2003 (Março)



2ª época de 2003 (Maio)



■ Trevo + Serradela + Bisserula
 ▨ Gramíneas espontâneas

■ Azevém + Panasco
 □ Leguminosas espontâneas
 ▩ Outras

Figura 2 – Composição florística da consociação pratense nas épocas de avaliação da matéria seca produzida.

Para o nível L_1 , os acréscimos foram semelhantes (≈ 1300 kg/ha), nos dois ciclos culturais, enquanto, com L_2 , os aumentos de produção foram de cerca de 3150 kg/ha e 1750 kg/ha, respectivamente em 2002 e 2003. Neste ano, as produções obtidas com L_1 e L_2 não diferiram. A precipitação total acumulada do 1º ciclo cultural (423 mm) foi inferior em cerca de 140 mm à registada no 2º ciclo (566 mm), o que parece não ter influenciado a produção total de biomassa.

Estes resultados confirmam o incremento significativo de produção de biomassa verificado com o nível L_1 (12 t/ha) da LRU da ETAR de Évora, em dois anos culturais consecutivos de dois ensaios de modalidades de fertilização, diferindo pela densidade de sementeira da consociação pratense semeada, que foram instalados numa área adjacente à ocupada pelo presente ensaio (Serrão *et al.*, 2000). Um dos aspectos mais salientes da composição florística da consociação pratense semeada, nas épocas de amostragem para avaliação da produção de matéria seca (Figura 2), foi a baixa proporção de gramíneas semeadas (“Azevém + Panasco”), que apenas superou a de leguminosas semeadas (“Trevo + Serradela + Bis-

serula”) na 1ª época de 2002, com L_0 e L_2 . A representação das leguminosas semeadas, que foi muito baixa no 1º ciclo cultural, em especial na 1ª época, em todos os tratamentos ($< 4\%$), aumentou apreciavelmente no 2º ciclo cultural, nomeadamente na 1ª época de amostragem (Março) e nos níveis L_1 e L_0 de resíduo, onde atingiu 35% e 28%, respectivamente. Também as leguminosas espontâneas tiveram maior expressão em 2003, sobretudo na 1ª época e com o nível L_1 . A distribuição irregular da precipitação no período que antecedeu a 1ª amostragem de 2002, com valores muito baixos em Novembro de 2001 e Fevereiro de 2002 (Quadro 1), em muito deve ter condicionado a proporção de espécies semeadas no 1º ano do ensaio.

A maior dose de LRU pode ter induzido a predominância de “Outras” na 1ª época de 2002 e de “Gramíneas espontâneas” na 2ª época do mesmo ano, quando comparada com as doses L_0 e L_1 .

De igual modo, no 2º ciclo cultural, a dose L_2 conduziu, em ambas as épocas de amostragem, a percentagens mais elevadas dos grupos “Gramíneas espontâneas” e “Outras”. A maior quantidade de nutrientes

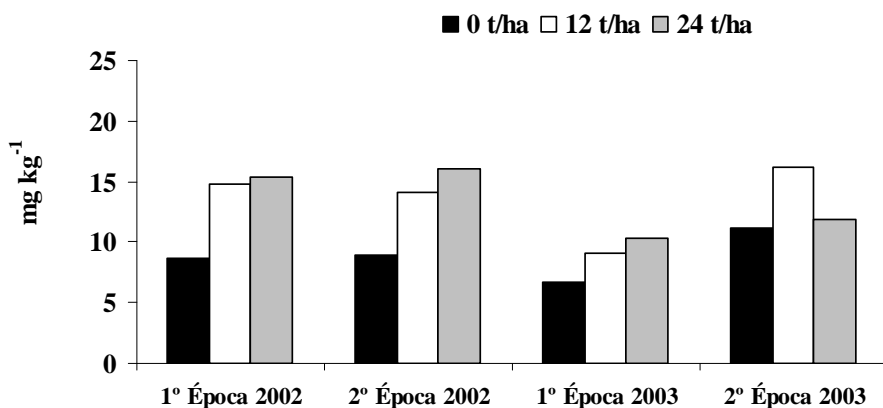


Figura 3 – Concentrações foliares de cobre nas épocas de amostragem de dois anos de ensaio.

veiculada para o solo pela dose L_2 , nomeadamente de N, deve ter favorecido o rápido crescimento das espécies autóctones, ensombrando e impedindo o desenvolvimento das leguminosas e, até mesmo, das gramíneas semeadas. Os valores médios da concentração de Cu no material vegetal, obtidos nas quatro datas de amostragem (Figura 3), que oscilaram entre $6,7 \text{ mg kg}^{-1}$ (L_0 , 1ª amostragem de 2003) e $16,3 \text{ mg kg}^{-1}$ (L_1 , 2ª amostragem de 2003), foram muito inferiores ao limite máximo tolerável (25 mg kg^{-1}) nos alimentos destinados aos ovinos (NRC, 1985).

A aplicação de LRU induziu acréscimos significativos no teor de Cu da biomassa vegetal, relativamente à modalidade L_0 , na média dos anos e das épocas de amostragem, não se verificando diferenças significativas entre L_1 e L_2 .

Parâmetros no solo

Da análise de variância dos valores dos oito indicadores de fertilidade do solo (Quadro 4), verificou-se que a interação tripla época de amostragem x Dose de LRU x

Profundidade apenas foi significativa para os teores de P Egnér-Riehm ($P \leq 0,001$), que se elevaram apreciavelmente na camada 0-10 cm, ao fim do 1º e 2º anos após a aplicação do resíduo (Figura 4).

Em 2002, os acréscimos de P “assimilável” em relação a L_0 , de 60 mg kg^{-1} e de 46 mg kg^{-1} em L_1 e L_2 , respectivamente, foram similares. Todavia, em 2003, o incremento em L_2 (79 mg kg^{-1}) foi superior ao de L_1 (54 mg kg^{-1}).

A concentração de Cu extraível por água régia na camada de 10 cm de profundidade (Figura 4), que foi próxima de 12 mg kg^{-1} em L_0 , nas três épocas de amostragem, cresceu com a maior dose de LRU para níveis de cerca de 130 mg kg^{-1} , superiores ao máximo legislado (100 mg kg^{-1}). Na camada de 10-20 cm, os teores de Cu (valores não apresentados) mantiveram-se baixos durante os dois anos de ensaio, oscilando entre 12,4 e $28,7 \text{ mg kg}^{-1}$.

O teor de Mg de troca, que era elevado no início do ensaio (Quadro 2), também cresceu significativamente ($P \leq 0,05$) em 2002 e 2003, com a aplicação da LRU, na média das profundidades de

QUADRO 4 - Síntese da análise de variância (Valores de F) dos valores de concentração de MO total, N total, P e K extraíveis pelo método de Egnér-Riehm e catiões de troca (Ca, Mg, K e Na), em três épocas de amostragem do solo

Origem da variação	G.l.	Valor de F							
		M.O. total	N total	P Riehm	K Riehm	Ca troca	Mg troca	K troca	Na troca
Efeitos principais									
A: Época de amostragem	2	9,2***	11,6***	28,6***	140,5***	9,6***	15,8***	7,9***	41,7***
B: Nível de LRU	2	5,1**	5,4**	29,7***	3,0*	3,3*	1,9 n.s.	3,6*	0,49 n.s.
C: Profundidade	1	171,3***	112,9***	86,7***	314,3***	41,6***	2,7 n.s.	121,1***	14,4***
Interações									
A x B	4	1,5 n.s.	1,8 n.s.	8,4***	0,43 n.s.	2,0 n.s.	2,4*	0,84 n.s.	1,5 n.s.
A x C	2	3,7*	5,3**	12,2***	6,2*	1,2 n.s.	5,2**	3,5*	5,5**
B x C	2	3,0*	3,4*	13,9***	0,36 n.s.	3,2*	1,0 n.s.	0,04 n.s.	0,03 n.s.
A x B x C	4	0,81 n.s.	1,1 n.s.	5,2***	0,81 n.s.	1,2 n.s.	1,2 n.s.	0,92 n.s.	0,45 n.s.

G.l. – Graus de liberdade; *** $P \leq 0,001$; ** $P \leq 0,01$; * $P \leq 0,05$; n.s. não significativo.

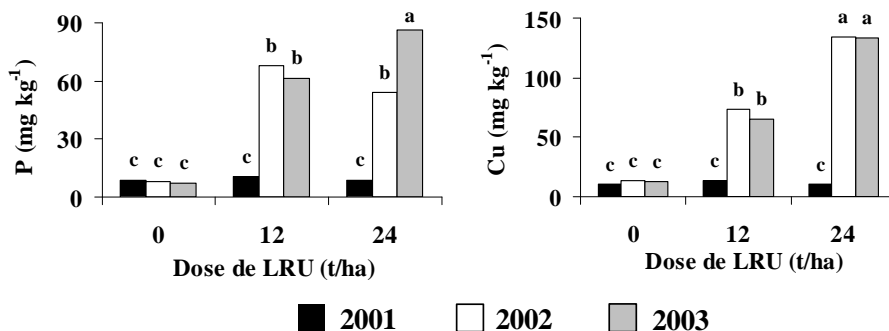


Figura 4 – Evolução na camada superficial do solo dos teores de P Egnér-Riehm e de Cu extraível por água régia (0 – 10 cm).

colheita, ou seja numa camada média de 20 cm de espessura. Também na camada superficial de solo (0-10 cm), mas somente na média das três épocas de amostragem, a aplicação de LRU induziu acréscimos significativos ($P \leq 0,05$) nos teores de M.O. (3,9 e 6,3 g kg⁻¹), de N total (0,19 e 0,32 g kg⁻¹) e de Ca de troca (0,56 e 0,52 cmol_(c) kg⁻¹), em L₁ e L₂, respectivamente. Os incrementos significativos destes indicadores perdem, contudo, grande parte do seu interesse agronómico, por não ser possível situar os aumentos provocados pela aplicação da LRU numa data precisa.

Antes da aplicação da LRU, a camada superficial do solo era claramente deficitária em P “assimilável” (Quadro 2), o que indiciava ser o elemento P um factor limitante da produção. Assim, pode atribuir-se o incremento de produção induzido pelo resíduo, principalmente, ao acréscimo da disponibilidade de P no solo, como resultado da incorporação do elemento (68 e 136 kg/ha de P, respectivamente com L₁ e L₂) e posterior evolução. Num ensaio de fertilização com uma consociação pratense de baixa densidade de sementeira, a aplicação de 12 t/ha da LRU da ETAR de Évora também foi uma das

duas modalidades que maiores acréscimos de P “assimilável” induziram na camada superficial do solo (Serrão *et al.*, 2001).

Antes da aplicação da LRU e após o 1º ciclo cultural da consociação pratense, as concentrações no solo dos PCBs e pesticidas organoclorados analisados na LRU foram inferiores aos valores de concentração correspondentes aos limites de detecção, em todos os talhões do ensaio (Serrão *et al.*, 2005). Também os teores dos PAHs criseno, fenantreno, fluorantreno, fluoreno, naftaleno e pireno foram baixos e os dos restantes dez PAHs foram inferiores aos respectivos limites de detecção. Um ano após a aplicação do resíduo, apenas o teor de criseno teve um baixo e não significativo incremento (11 µg kg⁻¹) com o nível L₂.

As estimativas da abundância de coliformes fecais e de enterococos no solo estão representadas na Figura 5.

Independentemente da modalidade de tratamento, as determinações efectuadas revelaram, pontualmente, níveis bastante aumentados das populações dos indicadores fecais, o que poderá atribuir-se à presença de excrementos de pequenos animais nos talhões de ensaio, conforme foi observado no campo.

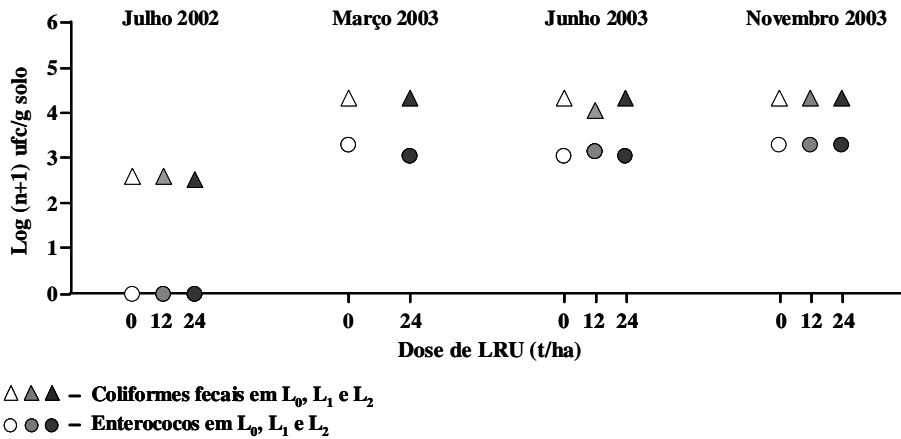


Figura 5 - Níveis populacionais de indicadores de contaminação fecal (coliformes fecais e enterococos) na camada superficial do solo (0-4 cm), em 4 períodos de amostragem; ufc - unidades formadoras de colónias.

Não se observaram diferenças apreciáveis entre os níveis populacionais dos indicadores testados nas três modalidades do ensaio e também não foi detectada uma evolução relevante nos níveis de indicadores ao longo dos vários períodos de amostragem. No entanto, registou-se um acréscimo entre Julho de 2002 e Março de 2003, quer de coliformes fecais, quer de enterococos. Este incremento populacional pode estar relacionado com um maior nível de humidade do solo e com a alteração do coberto vegetal

em Março de 2003, factores que poderão ter favorecido a presença de fauna autóctone não excluída pelo tipo de vedação utilizada.

Quanto à influência do resíduo na população rizobiana que nodula os trevos (Figura 6), apenas foi negativa com o aumento da dose de LRU no 1º ano cultural (amostragem do Outono de 2001), o que pode ser atribuído, pelo menos em parte, ao impacto depressivo do N incorporado no solo pela LRU (206 kg/ha e 412 kg/ha, com L₁ e L₂, respectivamente).

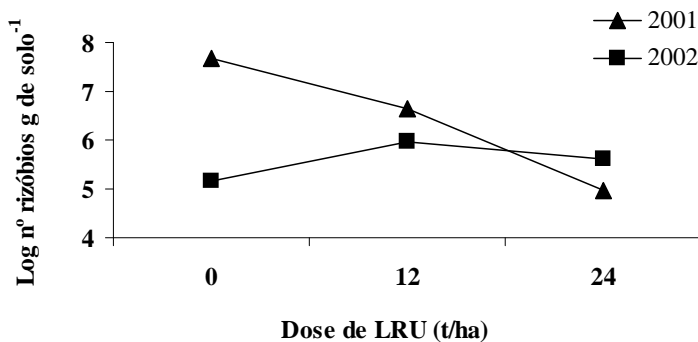


Figura 6 - Número de rizóbios por grama de solo (0 – 10 cm), avaliados em Outubro de 2001 e 2002.

No início do 2º ciclo cultural (Outono de 2002), não se observaram diferenças apreciáveis da dimensão da população de rizóbio entre níveis da LRU. Saliente-se, contudo, que os valores da população rizobiana existente no solo (10^5 a 5×10^7) se podem considerar adequados para uma boa nodulação das leguminosas (Brockwell, 1981), mesmo no início do 1º ano cultural, quando se verificou efeito negativo da LRU.

CONCLUSÕES

A aplicação de LRU mostrou-se claramente promissora no incremento da produção de matéria seca de misturas pratenses semeadas e pastagens e na melhoria dos teores de P “assimilável”, de M.O. e N totais e de Ca e Mg de troca do solo.

Os compostos poluentes orgânicos veiculados pelo resíduo para a camada superficial do solo não persistiram no solo um ano após a aplicação do resíduo.

Os níveis de LRU ensaiados também não contribuíram para o aumento de contaminação fecal do solo.

Entre as doses de aplicação da LRU, a de 12 t/ha é a recomendável, por ser mais favorável ao desenvolvimento das leguminosas, semeadas e espontâneas, e por não poluir o solo com o cobre veiculado pelo resíduo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelos Projectos PIDDAC n.º 141/01 (2001-2003) e AGRO 414 (2004-2007). Os autores agradecem ao Inv. Principal José Figueiredo Marques a orientação prestada na

pesquisa de indicadores de contaminação fecal. Agradecem, também, à Técnica Especialista Odete Monteiro, Técnicas Profissionais Ângela Pires, Maria Delfina Navalhas e Maria de Lurdes Cravo de Oliveira e Auxiliar Técnica de Laboratório Rosa Maria Rocha (Dep. de Ciência do Solo, Estação Agronómica Nacional), a colaboração nas determinações analíticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L.A.V. & Balbino, L.R. 1960. Determinação do fósforo e do potássio assimiláveis em alguns solos do País. *Anais do Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa*, **23**: 19-42.
- Bolton, J. 1972. Effects of potassium, magnesium, and sodium fertilizers and lime on the yield and composition of crops in a ten-year experiment at Rothamsted. *Report Rothamsted Experimental Station (Part 2)*: 102-110.
- Brockwell, J. 1963. Accuracy of a plant infection technique for counting populations of *Rhizobium trifolii*. *Applied Microbiology*, **11**: 377-383.
- Brockwell, J. 1981. A strategy for legume nodulation research in developing regions of the world. *Plant and Soil*, **58**: 367-382.
- Costa, J.B. 1979. *Caracterização e Constituição do Solo*. (2ª Ed.). Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Costa, M.S. 2003. *Utilização de Águas Residuais Depuradas na Rega e de Lamas Urbanas como Fertilizante dos Solos do Algarve*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Ciências Agrárias, Universidade do Algarve, Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais, Faro.

- Domingues, H. 1999. *Comportamento de Metais Pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn) em Solos Tratados com Lamas Residuais Urbanas*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia do Ambiente, Sistemas Naturais e Suas Tensões, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Domingues, H., Monteiro, O.R., Pedra, F., Amaro J.T. & Gusmão, M.R. 2001. Aplicação de Lamas Residuais Urbanas em Solos Agrícolas. Síntese dos Estudos Desenvolvidos no Departamento de Ciência de Solo, da Estação Agronómica Nacional - INIA. *Revista das Ciências Agrárias*, **25** (3 e 4): 341-352.
- Ferreira, E.M. & Castro, I.V. 2002. The use of sewage sludge as a fertilizer in pasture. In IAEA (ed) *Irradiated Sewage Sludge for Application to Cropland*, pp. 161-169. Int. Atomic Energy Agency, IAEA – TECDOC – 1317, Vienna, Áustria.
- Gerba, C.P. 2002. Domestic wastes and waste treatment. In R.M. Meyer, I.L. Pepper & C.P Gerba (eds) *Environmental Microbiology*, pp. 505-534. Academic Press, San Diego, U.S.A.
- ISO 11466 1995. *Soil quality – Extraction of trace elements soluble in aqua regia*. International Organization for Standardization, Genève.
- ISSS-ISRIC-FAO 1998. *World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Report*, **84**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Mata, A.M. & Pássaro, D.A., 1993. Produção e destino final de lamas de ETAR. Caracterização da situação nacional. *Seminário sobre Tratamento e Destino Final de Lamas de Águas Residuais*, pp. 2.1-2.5. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Direcção Geral da Qualidade do Ambiente e Serviços Municipalizados da Câmara Municipal de Loures, Lisboa, Portugal.
- MODAA (MOVIMENTO EM DEFESA DA AGRICULTURA ALENTEJANA) 1998. A agricultura alentejana e o futuro. Dez anos para mudar o Alentejo. *Revista Ovelha*, **40**: VI-83.
- Norma Portuguesa 1048-2, 1990. *Matérias Fertilizantes. Adubos e Correctivos Alcalinizantes. Características, Processos de Análise e Marcação*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.
- NRC (National Research Council) 1985. *Nutrient Requirements of Sheep*. 6th ed. National Academy Press. Washington D.C., USA.
- Decreto – Lei nº 118/2006. *Diário da República*, I Série - A, 21 Junho, **118**: 4380-4388.
- Roxo, M.J. 1994. *A Acção Antrópica no Processo de Degradação de Solos. A Serra de Serpa e Mértola*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor no Ramo de Geografia e Planeamento Regional na Especialidade Ambiente e Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Serrão, M.G., Dordio, A, Fernandes, M.L., Domingues, H., Campos, A.M., Boto, J.M., Horta, C. & Raposo, F. 2000. Utilização de uma lama de ETAR para aumento de produção de pastagens em solos marginais do Baixo Alentejo. *III Reunião Ibérica de Pastagens e Forragens*: pp. 269-274. Bragança, A Coruña e Lugo.
- Serrão, M.G., Boto, J.M., Neves, M.J., Fernandes, M.L., Martins, J.C., Pires, F.P. & Oliveira, A. 2001. Evolução da fertilidade de um Solo Mediterrâneo Pardo de Materiais Não Calcários de grauvaques sob pastagem, por efeito da adubação e da fertilização com uma

- lama de ETAR. *Revista de Ciências Agrárias*, **25** (3 e 4): 382-393.
- Serrão, M.G., Domingues, H., Viana, P., Martins, J.C. & Fernandes, M.L. 2005. Será a presença de alguns compostos orgânicos poluentes, na lama da ETAR de Évora, uma limitação para aplicação em solos agrícolas? *Revista de Ciências Agrárias* **28** (2): 380-388.
- Serrão, M.G., Domingues, H., Fernandes, M., Castelo Branco, M.A., Monteiro, O. & Dordio, A. 2006. Using sewage sludge in pastures without environmental risks. *Grassland Science in Europe*, **11**: 691-693.
- Smith, S.R. 1996. *Agricultural Recycling of Sewage Sludge and the Environment*. CAB International, Wallingford, U K.
- Ulrich A., Ririe D., Hills H.F., George G.A. & Morse, M.D. 1959. 1. Plant analysis, a guide for sugar beet fertilization. 2. Analytical methods...for use in plant analysis. *California Agricultural Experiment Station Bulletin*, **766**: 4-78.