

Fertilidade e contaminação por metais pesados e microrganismos fecais de um solo sob pastagem pela aplicação de lama residual urbana

Soil fertility and contamination by heavy metals and faecal microorganisms as affected by biosolids application in pasture

M. G. Serrão¹, A. Varela¹, P. Fareleira¹, M. A. Castelo Branco¹, M. Fernandes², J. Martins¹, F. Pires¹, J. B. Ramos², O. Monteiro¹ & A. Dordio³

RESUMO

Em vastas áreas do Alentejo, os solos sob pastagem natural apresentam baixa fertilidade. A aplicação de lama residual urbana (LRU) veicula matéria orgânica (M.O.) e nutrientes para o solo, mas também pode introduzir metais pesados e bactérias de origem fecal, pelo que é conveniente monitorizar o solo após a adição destes resíduos. Comparam-se as fertilizações orgânica com LRU e a mineral, nos efeitos em alguns índices de fertilidade e contaminação metálica e fecal de um solo derivado de xistos e grauvaques, no Alentejo, no 1º ano de um campo experimental com pastagens.

O campo, com um esquema experimental em “split-plot”, foi constituído por seis talhões de 0,5 ha, correspondentes a três tratamentos de fertilização (nula, mineral e orgânica, com LRU), em dois tipos de pastagem, natural e semeada. Aplicaram-se cerca de 13 t/ha de uma mistura de LRU das ETARs de tratamento secundário de

Alvito e de Vila Nova de Baronia, com teores apreciáveis de M.O., N e Ca. A adubação incluiu N, P, K, Zn e Mo. Determinaram-se os valores de pH (H₂O) e os teores de M.O. total, N total, P e K “assimiláveis”, cationes de troca e de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn extraíveis por água régia, em amostras de terra (fracção < 2 mm), colhidas à profundidade de 0-15/20 cm, antes da aplicação dos fertilizantes e cerca de um ano após a incorporação dos mesmos no solo. Para a prospecção de indicadores microbianos de contaminação fecal (bactérias coliformes e *Enterococcus*), efectuaram-se três amostragens de terra (0-5/10 cm), imediatamente após a aplicação de LRU e seis e 13 meses depois, nas modalidades com e sem aplicação do resíduo.

Para ambos os tipos de pastagem, a aplicação de LRU beneficiou nitidamente a camada superficial do solo quanto ao teor de M.O., um ano após a aplicação dos fertilizantes, não tendo alterado o nível inicial de metais pesados ou de bactérias de origem fecal.

¹ Dep. de Ciência do Solo e ²Dep. Estatística Experimental, Economia e Sociologia Estação Agronómica Nacional, Av. República, 2784-505 Oeiras, e-mail: gserrao@netcabo.pt; ³Av. Bombeiros Voluntários, 38, 6º, 1495-020 Algés, dordioma@mail.telepac.pt

ABSTRACT

In wide areas of Alentejo, soils under natural pasture have low fertility. Urban biosolids (UB) application introduces organic matter (O.M.) and nutrients in the soil, but it can also add heavy metals and bacteria of faecal origin. Thus, soil monitoring after the application of these residues is required. Organic with UB and mineral fertilisations were compared regarding their effects on some fertility and metallic and faecal pollution indicators of a soil derived from schists and grauwacks, in the 1st year of a field experiment with pastures.

The experimental layout was a split-plot design, with six plots of 0.5 ha, referring to three fertilisation treatments ("nil", mineral, and organic, with UB), in natural and sown pastures. The UB application was about 13 t/ha of a UB mixture from the Alvito and Vila Nova de Baronia plants, rich in O.M., N, and Ca. Mineral fertilisation included N, P, K, Zn, and Mo. Soil samples (fraction <2 mm) collected at the 0-15/20 cm depth, before the fertilisers application and around one year after the establishment of the experiment were analysed for pH (H₂O) value and O.M., total N, available P and K, exchangeable cations, and extractable aqua regia Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn. Microbial indicators of faecal contamination (coliform bacteria and enterococci) were also evaluated from topsoil samples (0-5/10 cm), collected immediately after the UB application, and 6 and 13 months afterwards, in the treatments with and without UB application.

For both types of pasture, the UB application significantly improved the O.M. content in the soil surface layer, one year after the fertiliser application, and did not change the initial soil levels of heavy metals and bacteria populations of faecal origin.

INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, vários estudos têm sido realizados no País para caracterizar os biosólidos provenientes do tratamento de águas residuais de origem doméstica (LRU) e/ou avaliar o valor fertilizante deste tipo de resíduos, incluindo os efeitos que a sua aplicação induz em parâmetros físicos e químicos dos solos. Grande parte destes trabalhos foi referida por Domingues (1999), Domingues *et al.* (2001) e Serrão *et al.* (2004). As LRU têm, geralmente, teores apreciáveis de matéria orgânica (M.O.), azoto e fósforo, para além de cálcio e enxofre, mas podem conter metais pesados em níveis apreciáveis (Smith, 1996; Dias, 2004). Em relação aos elementos cádmio, chumbo, cobre, crómio, mercúrio, níquel e zinco, a legislação nacional regulamenta a concentração - limite nas LRU e nos solos receptores (Decreto-Lei n.º 118/2006).

As LRU que legalmente podem ser aplicadas aos solos agrícolas, ainda que tenham sido sujeitas a tratamentos biológicos e de estabilização, que em muito reduzem a flora microbiana patogénica, são potenciais veículos de transmissão de organismos patogénicos de origem fecal (Gerba, 2000a). Por este motivo, a sua utilização requer uma avaliação cuidadosa em termos de segurança para a saúde humana e animal. Dada a impossibilidade de pesquisar directamente todos, ou sequer os mais relevantes micróbios patogénicos, torna-se necessário recorrer a indicadores. As bactérias coliformes (que incluem *Escherichia coli*) constituem o indicador mais vulgarmente utilizado na prospecção de contaminação fecal nos solos. Estes microrganismos, de fácil detecção laboratorial, ocorrem normalmente no tracto intestinal de animais de sangue quente e são excretados em número elevado nas fezes. A detecção adicional de *Enterococ-*

cus, um género de bactérias entericas incluído no grupo dos estreptococos fecais, pode ser vantajosa, devido à maior resistência destes microrganismos a condições ambientais adversas (Gerba, 2002b).

Neste trabalho, comparam-se as variações induzidas pela fertilização orgânica com LRU e pela adubação, no 1º ano de um Campo experimental com pastagens, em alguns indicadores de fertilidade e contaminação metálica e fecal de um solo derivado de xistos e grauvaques, no Alentejo.

MATERIAL E MÉTODOS

Ensaio

O campo experimental foi instalado na Herdade do Revez, localizada no concelho de Aljustrel, no Outono de 2004. O esquema experimental foi em “*split-plot*”, sendo os grandes talhões (dois) correspondentes a dois tipos de pastagem, natural e semeada, os quais foram subdivididos em três talhões de 0,5 ha, relativos a três tratamentos de fertilização (nula, mineral e orgânica, com LRU).

Aplicaram-se cerca de 12,8 t/ha de matéria seca de uma mistura de LRU com tratamento secundário das ETAR de Alvito (7449 kg/ha) e de Vila Nova de Baronia (5387 kg/ha), o que correspondeu a uma proporção de 58% e 42%, respectivamente, na mistura das LRU.

Na caracterização físico-química de amostras destas LRU, utilizaram-se os seguintes métodos: humidade, pH (H₂O), M.O. e N total, conforme descrição de Domingues (1999); relação C/N, adoptando o factor 1,8 no cálculo do teor de C total a partir do de M.O. (Gonçalves, 1999); P, K, Ca, Mg, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn total, por solubilização em água régia (EN 13346,

2000), com sistema fechado, num digestor de microondas. O doseamento dos elementos nos extractos, com excepção do P, foi efectuado por espectrofotometria de absorção atómica. A determinação do P foi realizada após filtração dos extractos com recurso a carvão activado, por espectrofotometria de absorção molecular, utilizando a técnica do vanadomolibdato de amónio; e do Hg total, por digestão em microondas, com redução do elemento por borohidreto de sódio e doseamento por espectrofotometria de absorção atómica, pela técnica de vapor frio (método do Lab. de Análises do Instituto Superior Técnico).

QUADRO 1 – Algumas características físico-químicas das LRU

Caraterísticas	ETAR	
	Alvito	Vila Nova de Baronia
Humidade (%)	5,6	9,6
pH (H ₂ O)	6,4	6,4
M.O. (g kg ⁻¹)	156	503
N total (g kg ⁻¹)	8,5	24,3
C/N	10,2	11,5
P total (g kg ⁻¹)	1,0	1,3
K total (g kg ⁻¹)	0,9	1,6
Ca total (g kg ⁻¹)	8,0	58
Mg total (g kg ⁻¹)	1,7	3,7
Cd água régia (mg kg ⁻¹)	5,8	4,8
Co água régia (mg kg ⁻¹)	5,4	5,7
Cr água régia (mg kg ⁻¹)	142	48
Cu água régia (mg kg ⁻¹)	71	204
Hg água régia (mg kg ⁻¹)	n.d.	n.d.
Ni água régia (mg kg ⁻¹)	11	21
Pb água régia (mg kg ⁻¹)	26	81
Zn água régia (mg kg ⁻¹)	414	1276

n.d. - não detectado.

A reacção das LRU era ligeiramente ácida e similar (Quadro 1). O teor de M.O. era apreciável, principalmente na LRU de Vila Nova de Baronia, que pode ser classificada como adubo orgânico (M.O. > 500 g kg⁻¹), segundo a Norma Portuguesa 1048-2

(1990). Os teores totais de N, K, Ca, Mg, Cu, Ni, Pb e Zn também eram mais elevados na LRU de Vila Nova de Baronia. A relação C/N das LRU era similar e o valor calculado (11,1) de C/N da mistura das LRU (cálculo baseado nas quantidades totais de C e N veiculadas ao solo pelos dois biosólidos) sugere que a lama utilizada estava estabilizada (relação C/N próxima de 10), pelo que não deveria ocorrer imobilização temporária do N logo após a introdução no solo (Brito, 1986).

O teor de P total na matéria seca de ambas as LRU, próximo de 1 g kg^{-1} , era menor que o teor médio de $3,9 \text{ g kg}^{-1}$ indicado por Smith (1996) para lamas de depuração urbana desidratadas inglesas, com tratamento. Apresentava-se, também, muito inferior aos teores de P na matéria seca indicados por Brito (1986) e por Varennes (2003), que oscilam, respectivamente, entre 11,4 e $34,5 \text{ g P kg}^{-1}$ e entre 7 e 19 g P kg^{-1} . Este facto pode ser devido, pelo menos em parte, à proporção apreciável de areia proveniente dos leitos de secagem nas amostras de LRU caracterizadas e também ao facto de ter sido utilizado carvão activado, que adsorve P, na preparação, para análise, dos extractos provenientes da digestão com água régia.

O teor de K também era baixo, como é usual neste tipo de resíduos, face ao teor médio (23 g kg^{-1}) dos estrumes (Brito, 1986). Os teores de metais pesados eram

inferiores aos valores limite estabelecidos pela legislação portuguesa que regula a aplicação de lamas ao solo (Decreto-Lei n.º 118/2006).

A adubação, que incluiu N, P, K, Mo e Zn (Quadro 2), foi calculada em função da caracterização físico-química do solo na área total ocupada pelo ensaio (amostragem de Maio de 2004) e, para o P e K, também na produção de matéria seca esperada ($3\text{-}6 \text{ t/ha}$) da pastagem semeada. O Mo e o Zn foram considerados, porque as concentrações de Mo extraível por oxalato de amónio ($< 0,2 \text{ mg kg}^{-1}$) e de Zn extraível por $\text{NH}_4\text{OAc} + \text{EDTA}$ ($0,82 \text{ mg kg}^{-1}$) eram baixas para uma produção normal (LQARS, 2000).

Da comparação entre a adubação e a aplicação de LRU quanto aos nutrientes introduzidos na camada superficial do solo, que foi possível quantificar em ambos os tipos de fertilizantes (Quadro 3), verifica-se que a mistura de LRU incorporou quantidades de P e K inferiores aos da adubação, sendo as de N, Ca e Zn superiores.

Na aplicação dos fertilizantes, utilizou-se um distribuidor de estrume e um distribuidor centrífugo, respectivamente, para a LRU e para os adubos. A incorporação no solo foi realizada até cerca de 15 cm de profundidade, com uma grade de discos.

A sementeira da pastagem foi realizada com uma densidade de 30 kg/ha , utilizando um semeador de cereais comum. A

QUADRO 2 – Unidades fertilizantes e doses de adubos (kg/ha) aplicadas no 1º ano do ensaio, em fundo

Unidades Fertilizantes		Adubos	kg/ha
N	25	Nitroamoniaco a 20,5% N	122
P ₂ O ₅	140	Superfosfato 18% P ₂ O ₅	778
K ₂ O	125	Cloreto de potássio 60% K ₂ O	208
Mo	0,05	Molibdato de sódio	0,126
Zn	3,6	Sulfato de zinco	10

QUADRO 3 - Quantidades de elementos aplicadas ao solo (0-20 cm) através dos fertilizantes

Elemento	Com adubação	Com LRU	Elemento	Com adubação	Com LRU
N (kg/ha)	25,0	194	Cd (g/ha)	-	69,0
P (kg/ha)	61,1	14,5	Co (g/ha)	-	71,0
K (kg/ha)	104,0	15,3	Cr (g/ha)	-	1320
Na (g/ha)	24,0	-	Cu (g/ha)	-	1630
Ca (kg/ha)	198	372	Hg (g/ha)	-	n.d.
Mg (kg/ha)	-	32,6	Ni (g/ha)	-	195
Mo (g/ha)	50,0	-	Pb (g/ha)	-	630
S (kg/ha)	95,1	-	Zn (kg/ha)	3,6	10

n.d., não detectado; -, não determinado.

mistura de espécies semeadas consistiu de cinco espécies de trevo (*Trifolium subterraneum*, *Trifolium michaelianum*, *Trifolium vesiculosum*, *Trifolium resupinatum*, *Trifolium incarnatum*), duas espécies de serradela (*Ornithopus sativus*, *Ornithopus compressus*), bisserula (*Bisserula pelecinus*), azevém perene (*Lolium perenne*), panasco (*Dactylis glomerata*) e alpista dos prados (*Phalaris aquatica*). No final desta operação, apenas o solo no talhão relativo à modalidade de pastagem natural sem fertilização não tinha sofrido qualquer mobilização.

Em cada talhão, colocaram-se seis gaiolas de exclusão para avaliação da produção de biomassa e da composição florística da pastagem. O campo foi pastoreado entre 12 de Janeiro e 14 de Março de 2005 (seis ovinos em crescimento/talhão). A produção de matéria seca foi avaliada, apenas, numa época (Fevereiro de 2005), dada a baixa pluviosidade que ocorreu no ano hidrológico 2004/2005.

Solo

O campo experimental foi instalado numa área que inclui dois tipos de solos: Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários Normais de xistos ou grauvaques (Px) e Litossolos de xistos e grauvaques (Ex), segundo a classificação de

Cardoso (1974), ou Luvisolos Háplicos e Leptossolos Háplicos, de acordo com a nomenclatura da FAO (2001), conforme apresentam uma espessura efectiva de solo entre 50 a 100 cm ou de 10 a 25 cm, respectivamente. Correspondem a solos que mostram, na camada superficial, uma textura franco-arenosa a franco-limosa, com maior pedregosidade nos solos Ex e menor nos Px, e uma compacidade, em geral, elevada.

Determinaram-se alguns índices físico-químicos do solo (pH em água e teores de M.O. total, N total, P e K “assimiláveis”, catiões de troca e Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn extraíveis por água régia) em amostras compostas de terra (fracção <2 mm), colhidas à profundidade de 0-15/20 cm em todos os talhões, antes da aplicação dos fertilizantes e cerca de um ano após a incorporação dos mesmos no solo (Setembro de 2004 e 2005, respectivamente). Cada amostra composta (2/talhão) foi constituída a partir de 3 a 4 pontos de amostragem em 2500 m². Os métodos analíticos utilizados na determinação do pH (H₂O) e dos teores de M.O. total, N total, P e K extraíveis pelo método de Egnér-Riehm (P e K Riehm) estão indicados em Serrão *et al.* (1999). Os teores dos catiões de troca foram determinados por extracção com acetato de amónio, segundo a técnica descrita por Balsa

(1993). A determinação dos elementos mínimos Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn foi efectuada segundo a Norma ISO 11047 (1998).

Os valores analíticos foram sujeitos a análise de variância (ANOVA) e, ainda, ao teste de Fisher LSD ($P \leq 0,05$), para comparação de médias das modalidades. Para a prospecção de indicadores microbianos de contaminação fecal, efectuaram-se três amostragens de terra (0-5/10 cm), imediatamente após a aplicação de LRU e seis e 13 meses depois, nas modalidades com e sem aplicação de LRU, em ambos os tipos de pastagem. Determinaram-se os níveis populacionais de coliformes totais, coliformes fecais, *E. coli* e *Enterococcus*.

O método de contagem, adaptado dos procedimentos descritos por Turco (1994) e Pepper *et al.* (1995), baseou-se na preparação de séries de diluições sucessivas (factor 10) de cada amostra de solo e na inoculação consecutiva de meios de cultura selectivos para cada indicador com alíquotas de oito níveis de diluição, com três réplicas por nível de diluição. Para a determinação de bactérias coliformes, utilizaram-se os seguintes meios (Difco/Benton Dickinson and Co., USA): *Lauryl Tryptose Broth* (coliformes totais), *EC Medium* (coliformes fecais) e *Endo Agar* (*E. coli*). Os casos positivos no meio selectivo para *E. coli* foram adicionalmente submetidos ao teste da enzima glucuronidase. Para a determinação de *Enterococcus*, utilizaram-se os meios *Enterococci Presumptive Broth* e *Kanamycin Aesculin Azide Broth*. Após incubação nas condições apropriadas para cada teste, registaram-se os casos positivos e calcularam-se estimativas dos Números Mais Prováveis (NMP) das populações de cada indicador nos solos, usando o programa *MNP Calculator* (Curiale, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes da aplicação dos fertilizantes, a camada superficial do solo (0 – 15/20 cm) apresentava um valor de pH (H₂O) compreendido entre 5,28 e 5,50 (Quadro 4) e o teor de M.O. total era “médio” (20 a 50 g kg⁻¹) ou “baixo” (10 a 20 g kg⁻¹), atendendo à textura “média” do solo (Costa, 1979). Os teores de P “assimilável” eram baixos (< 21,8 mg kg⁻¹) ou muito baixos (< 11 mg kg⁻¹) e os de K “assimilável” também eram, no geral, baixos (< 41,7 mg kg⁻¹) para a nutrição dos cereais de Inverno e as pastagens (Almeida & Balbino, 1960; Alves & Cardoso, 1967). Entre os catiões de troca, salientou-se o Mg, com teores superiores às necessidades de várias culturas (> 1 cmol_(c) kg⁻¹), segundo uma classificação inglesa (Bolton, 1972). Os teores iniciais de metais pesados extraíveis por água-régia eram inferiores aos valores limite impostos para solos com pH (H₂O) inferior a 5,5, pela legislação em vigor que regula a aplicação de lamas em solos agrícolas (Decreto-Lei n.º 118/2006).

Entre os indicadores de fertilidade e de contaminação metálica, apenas os teores de M.O. total e de P extraível pelo método de Egnér-Riehm (P Riehm) sofreram variações significativas ($P \leq 0,05$) no ano seguinte à aplicação dos fertilizantes (Quadro 4). Os teores de M.O. da camada superficial do solo cresceram nas modalidades com LRU, quer na pastagem natural (8,6 g kg⁻¹), quer na pastagem semeada (17,1 g kg⁻¹), e com a adubação mineral, na pastagem semeada (8,6 g kg⁻¹), atingindo valores estatisticamente semelhantes nestas modalidades. Os acréscimos induzidos pelo resíduo seriam de esperar, dada a quantidade elevada de M.O. (cerca de 3872 kg/ha) incorporada na camada superficial do solo através da mistura das LRU, cujos teores de M.O. eram apreciáveis (Quadro 1). Já a razão pela qual o teor de

QUADRO 4 - Comparação entre os valores médios dos indicadores físico-químicos na camada superficial do solo, em duas datas de amostragem

Modalidade	pH (H ₂ O)		M.O. (g kg ⁻¹)		N total (g kg ⁻¹)	
	Set. 2004	Set. 2005	Set. 2004	Set. 2005	Set. 2004	Set. 2005
P.N.	5,38a	5,15a	25,2cde	26,8cd	1,20a	1,16a
P.N. + LRU	5,36a	5,38a	26,8cd	35,4ab	1,32a	1,66a
P.N. + Adub.	5,42a	5,00a	30,4abc	29,4bc	1,34a	1,32a
P.S.	5,50a	5,22a	18,8e	25,3cde	1,12a	1,30a
P.S. + LRU	5,50a	5,61a	20,5de	37,6a	1,26a	1,65a
P.S. + Adub.	5,28a	5,34a	21,3de	29,9abc	1,26a	1,42a

Modalidade	P Riehm (mg kg ⁻¹)		K Riehm (mg kg ⁻¹)		Ca troca (cmol _c kg ⁻¹)	
	Set. 2004	Set. 2005	Set. 2004	Set. 2005	Set. 2004	Set. 2005
P.N.	13c	7c	26a	17a	3,20a	4,02a
P.N. + LRU	18bc	45a	25a	23a	3,73a	8,70a
P.N. + Adub.	21bc	11c	38a	26a	3,20a	3,85a
P.S.	11c	6c	37a	22a	4,08a	4,04a
P.S. + LRU	10c	32ab	28a	24a	4,00a	6,46a
P.S. + Adub.	13c	17bc	52a	60a	2,90a	3,97a

Modalidade	Mg troca (cmol _c kg ⁻¹)		K troca (cmol _c kg ⁻¹)		Na troca (cmol _c kg ⁻¹)	
	Set. 2004	Set. 2005	Set. 2004	Set. 2005	Set. 2004	Set. 2005
P.N.	1,34a	2,36a	0,16a	0,13a	0,36a	0,30a
P.N. + LRU	1,64a	3,10a	0,18a	0,18a	0,29a	0,43a
P.N. + Adub.	1,40a	2,56a	0,26a	0,22a	0,34a	0,34a
P.S.	1,74a	2,40a	0,24a	0,18a	0,54a	0,36a
P.S. + LRU	1,78a	3,44a	0,18a	0,20a	0,72a	0,48a
P.S. + Adub.	1,29a	2,03a	0,38a	0,52a	0,30a	0,38a

Modalidade	Cd água régia (mg kg ⁻¹)		Cr água régia (mg kg ⁻¹)		Cu água régia (mg kg ⁻¹)	
	Set. 2004	Set. 2005	Set. 2004	Set. 2005	Set. 2004	Set. 2005
P.N.	n.d.	n.d.	23,0a	30,5a	21,0a	17,0a
P.N. + LRU	n.d.	n.d.	24,5a	32,5a	26,0a	25,0a
P.N. + Adub.	n.d.	n.d.	26,0a	28,0a	22,0a	21,5a
P.S.	n.d.	n.d.	24,5a	29,5a	23,0a	21,5a
P.S. + LRU	n.d.	n.d.	26,0a	29,5a	22,5a	18,5a
P.S. + Adub.	n.d.	n.d.	23,0a	32,0a	25,5a	28,5a

Modalidade	Ni água régia (mg kg ⁻¹)		Pb água régia (mg kg ⁻¹)		Zn água régia (mg kg ⁻¹)	
	Set. 2004	Set. 2005	Set. 2004	Set. 2005	Set. 2004	Set. 2005
P.N.	26,5a	21,5a	44,0a	35,0a	74,0a	64,0a
P.N. + LRU	27,5a	22,0a	50,5a	44,5a	80,5a	78,0a
P.N. + Adub.	32,5a	22,0a	38,0a	42,0a	72,5a	70,0a
P.S.	28,5a	26,0a	48,0a	46,5a	78,5a	73,5a
P.S. + LRU	27,5a	24,0a	46,5a	41,5a	77,0a	67,0a
P.S. + Adub.	28,5a	31,5a	49,5a	59,0a	80,0a	88,0a

P.N. - Pastagem natural; P.N. + LRU - Pastagem natural com lama; P.N. + Adub. - Pastagem natural com adubação; P.S. - Pastagem semeada; P.S. + LRU - Pastagem semeada com lama; P.S. + Adub. - Pastagem semeada com adubação; n.d. - não detectado. Para cada parâmetro, valores na mesma coluna ou linha, seguidos de igual letra, não diferem significativamente ($P \leq 0,05$).

M.O. aumentou com a adubação, na pastagem semeada, não é nítida. Com efeito, o acréscimo de M.O. poderá estar relacionado, em parte, com a maior produção de matéria seca da pastagem, em valor absoluto, nele registada (1595 kg/ha), face à da pastagem semeada sem fertilização (569 kg/ha), deixando também maior quantidade de raízes no solo. Todavia, face à variabilidade espacial do solo nos talhões e pelo facto de ter havido pastoreio, com deposição de dejectos, não será também de excluir uma eventual deficiência na constituição das amostras compósitas de terra.

Em trabalho anterior (Serrão *et al.*, 2002), em que foram comparadas sete modalidades de fertilização numa mistura pratense semeada, num Luvissole Háplico da região de Mértola, durante dois ciclos culturais sucessivos, também foi a aplicação de um ou mais níveis de LRU da ETAR de Évora que aumentou significativamente os teores

de M.O. na camada superficial do solo.

Foi somente com a aplicação de LRU, nos dois tipos de pastagem, que se atingiram, no final do 1º ano de experimentação, teores muito mais elevados de P Riehm do que os iniciais (acréscimos de 27 mg kg⁻¹ e de 22 mg kg⁻¹, respectivamente na pastagem natural e na pastagem semeada). As variações neste indicador não puderam ser, todavia, cabalmente explicadas pelas diferenças de produção de matéria seca entre modalidades e consequentes níveis de absorção de P. Com efeito, devido às condições meteorológicas adversas, de muito baixa pluviosidade durante o ciclo cultural 2004/2005 (170 mm, entre Outubro de 2004 e Maio de 2005) e por se ter efectuado, apenas, uma avaliação da produção, os dados da produção total de matéria seca das pastagens (entre 403 kg/ha na pastagem natural, sem fertilização e 1595 kg/ha na pastagem semeada com adubação)

QUADRO 5 - Estimativas dos Números Mais Prováveis (NMP) de indicadores de contaminação fecal nos solos

Indicador / Modalidade	Datas de amostragem					
	24 Out. 2004		29 Abr. 2005		25 Nov. 2005	
	NMP* (cél/s/g)	Intervalo de confiança (95%)	NMP* (cél/s/g)	Intervalo de confiança (95%)	NMP* (cél/s/g)	Intervalo de confiança (95%)
Coliformes totais						
P.N.	1,2x10 ⁶	3,3x10 ⁵ –4,0x10 ⁶	3,2x10 ⁵	9,1x10 ⁴ –1,2x10 ⁶	1,1x10 ⁴	2,7x10 ³ –4,6x10 ⁴
P.N. + LRU	8,0x10 ⁷	2,2x10 ⁷ –2,8x10 ⁸	9,7x10 ⁴	2,3x10 ⁴ –3,9x10 ⁵	6,3x10 ³	1,8x10 ³ –2,2x10 ⁴
P.S.	1,3x10 ⁷	3,7x10 ⁷ –4,6x10 ⁸	9,6x10 ³	2,3x10 ³ –3,9x10 ⁴	2,4x10 ⁴	6,1x10 ³ –9,8x10 ³
P.S. + LRU	>4,9x10 ¹⁰	–	3,5x10 ⁴	9,9x10 ³ –1,2x10 ⁵	4,0x10 ⁴	1,1x10 ⁴ –1,4x10 ⁵
Coliformes fecais						
P.N.	< 1,5x10 ²	–	< 6,8	–	1,1x10 ²	2,7x10 ¹ –4,6x10 ²
P.N. + LRU	3,3x10 ⁵	7,5x10 ⁴ –1,5x10 ⁶	6,9x10 ¹	8,8–5,8x10 ²	2,5x10 ²	6,3x10 ¹ –1,0x10 ³
P.S.	4,5x10 ³	1,1x10 ³ –1,8x10 ⁴	5,26x10 ¹	1,5x10 ¹ –1,8x10 ²	< 7,9	–
P.S. + LRU	2,2x10 ⁴	5,2x10 ³ –8,9x10 ⁴	9,7x10 ²	2,3x10 ² –3,9x10 ³	< 8,0	–
Escherichia coli						
P.N.	< 1,5x10 ²	–	< 6,8	–	< 8,0	–
P.N. + LRU	1,1x10 ⁷	3,1x10 ⁴ –3,7x10 ⁵	<6,9x10 ¹	–	4,1x10 ¹	1,1x10 ¹ –1,4x10 ²
P.S.	3,0x10 ²	5,9x10 ¹ –1,5x10 ³	< 6,9	–	< 7,9	–
P.S. + LRU	4,8x10 ⁴	1,2x10 ⁴ –1,9x10 ⁵	<6,9x10 ¹	–	< 8,0	–
Enterococcus						
P.N.	5,2x10 ³	1,3x10 ³ –2,1x10 ⁴	<1,5x10 ²	–	<1,8x10 ²	–
P.N. + LRU	1,4x10 ⁵	3,9x10 ⁴ –4,8x10 ⁵	<1,5x10 ²	–	<1,8x10 ²	–
P.S.	<1,6x10 ³	–	<1,5x10 ²	–	<1,8x10 ²	–
P.S. + LRU	5,3x10 ³	1,3x10 ³ –4,0x10 ³	4,7x10 ²	1,2x10 ² –1,9x10 ³	<1,8x10 ²	–

* Número de células por grama de solo seco.

mostraram grande variabilidade no interior dos talhões (coeficiente de variação de cerca de 60%) e não se diferenciaram estatisticamente ($P \leq 0,05$).

Outros autores têm também registado aumentos do teor de P “assimilável” no solo após a aplicação das LRU. Rigueiro *et al.* (2006) atribuíram os incrementos a efeitos directos, devidos à incorporação de P no solo e indirectos, pela elevação do pH em solos ácidos. Dado que o pH do solo não se alterou, um ano após a aplicação do resíduo (Quadro 4), os acréscimos de disponibilidade do P poderão ser provavelmente atribuídos à ocorrência de formas inorgânicas (iões fosfato e polifosfato) de P nas LRU e à mineralização, no solo, de compostos orgânicos de P nelas presentes.

A aplicação de LRU ao solo, em ambos os tipos de pastagem, induziu um aumento imediato dos níveis populacionais de todos os microrganismos indicadores de contaminação fecal, relativamente aos talhões não tratados (Quadro 5), sugerindo contaminação do solo por bactérias entéricas.

Porém, nas colheitas realizadas seis e 13 meses após a aplicação da LRU ao solo observaram-se decréscimos progressivos das populações nas modalidades em que o resíduo foi adicionado, que atingiram níveis próximos dos observados nas respectivas testemunhas.

Os resultados obtidos nas contagens destes indicadores, um ano após a aplicação da LRU, com estimativas populacionais de *E. coli* e *Enterococcus* muito baixas ou inferiores ao limite de detecção do método utilizado, indicam que já não existiam bactérias entéricas provenientes das LRU no solo.

CONCLUSÕES

Para ambos os tipos de pastagem, a aplicação de LRU beneficiou nitidamente a

camada superficial do solo quanto ao nível de M.O., um ano após a aplicação dos fertilizantes, não tendo alterado o grau de contaminação inicial com metais pesados ou bactérias de origem fecal. Este facto sugere que a quantidade e natureza das LRU utilizadas não envolvem riscos de longo prazo no que se refere à contaminação do solo por metais pesados ou microrganismos patogénicos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Projecto AGRO 414 (2004-2007), intitulado “Utilização de lama residual urbana em solos marginais com pastagens no Baixo Alentejo, para melhoria da qualidade do solo e aumento do encabeçamento de ovinos”. Os autores agradecem às Técnicas Profissionais Maria Albertina Massena, Maria Clara Oliveira Pegado, Maria Delfina Navalhas e Maria de Lurdes Cravo de Oliveira e Auxiliar Técnica de Laboratório Rosa Maria Rocha (Departamento 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.
- Alves, J.A. & Cardoso, J.C. 1967. *Empreendimento de fertilização mineral e correcção do solo. I- Fertilização mineral. II Plano de Fomento (1959-1964)*. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa.
- Balsa, M.E.L. 1993. *O solo. Metodologia químico-analítica para a sua caracteri-*

- zação. Trabalho de síntese elaborado como Prova Complementar para acesso à categoria de Assistente de Investigação. Estação Agronómica Nacional, Instituto Nacional de Investigação Agrária, Oeiras.
- 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.
- Brito, J.M.C. 1986. *As Lamas Pretas como Fertilizante (Contribuição para o seu Estudo)*. Trabalho elaborado com vista à obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Agronómica, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Cardoso, J.C. 1974. A classificação dos solos de Portugal. Nova versão. *Boletim de Solos do S.R.O.A.*, **17**: 14-46.
- Costa, J.B. 1979. *Caracterização e Constituição do Solo*. (2ª Ed.). Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Curiale, M. 2004. *MPN Calculator*, version VB6. < <http://i2workout.com/mcuriale/mpn/index.html> >
- Decreto-Lei n.º 118/2006. *Diário da República* n.º 118, I Série-A, 21 de Junho 2006, pp. 4380-4388.
- Dias, J.C.S. 2004. *Guia de Boas Práticas – Aplicação de lamas na Agricultura*. Reciclamas – Multigestão ambiental, S.A., Lisboa.
- 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.
- EN 13346 2000. *Caractérisation des boues – Détermination des éléments traces et du phosphore – Méthodes d' extraction à l'eau regale*. Comité Européen de Normalisation (CEN), Bruxelles.
- FAO 2001. Lecture notes on the major soils of the world. *World Soil Resources Reports*, **94**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Gerba, C.P. 2000a. Domestic wastes and waste treatment. In: Meyer, R. M., Pepper, I.L. & Gerba, C.P. (Eds.) *Environmental Microbiology*, pp. 505-534. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- Gerba, C.P. 2000b. Indicator microorganisms. In: Meyer, R.M., Pepper, I.L. & Gerba, C.P. (Eds.) *Environmental Microbiology*, pp. 505-534. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- Gonçalves, M.J.S. 1999. *Gestão e Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, sua Valorização para Fins Agrícolas pelo Método de Compostagem*. Trabalho elaborado com vista à obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Agronómica, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- ISO 11047 1998. *Soil quality – Determination of cadmium, chromium, cobalt, copper, lead, manganese, nickel and zinc in aqua regia extracts of soil – Flame and electrothermal atomic absorption spectrometric methods*. International Organization for Standardization, Genève.
- LQARS 2000. *Manual de Fertilização das Culturas*. INIA – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, Lisboa.
- Norma Portuguesa 1048-2, 1990. *Matérias fertilizantes. Adubos e correctivos alcalinizantes. Características, processos de*

- análise e marcação*. Instituto Português da Qualidade, Edição de Janeiro de 1991.
- Pepper, I.L., Gerba, C.P., & Brendecke, J.W. 1995. *Environmental Microbiology: A Laboratory Manual*. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- Rigueiro, A., Rodriguez, S. & Mosquera, M.R. 2006. Residual effect of organic fertilization and liming on soil phosphorus and pasture in a silvopastoral system. *Grassland Science in Europe*, **11**: 610-612.
- Serrão, M.G., Gomes, R. & Silveira, H.L. 1999. Solarização do solo. Evolução da disponibilidade de alguns nutrientes e da salinidade em Solos Hidromórficos e Mediterrâneos Pardos. *Revista de Ciências Agrárias*, **22**: 35-54.
- Serrão, M.G., Boto, J.M., Neves, M.J., Fernandes, M.L., Martins, J.C., Pires, F.P. & Oliveira, A. 2002. 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., Fernandes, M.L., Martins, J.C., Pires, F.P., Domingues, H., Horta, C., Campos, A.M. & Dordio, A. 2004. As lamas residuais urbanas como melhoradoras da produção de misturas pratenses semeadas em solos marginais do Alentejo. *Pastagens e Forragens*, **25** (em publicação).
- Smith, S.R. 1996. *Agricultural Recycling of Sewage Sludge and the Environment*. CAB International, Wallingford, U K.
- Turco, R.F. 1994. Coliform bacteria. In: R.W. Weaver *et al.* (Eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. SSSA Book Series, nº 5, Soil Science Society of America, Madison, USA.
- Varenes, A. 2003. *Produtividade dos solos e ambiente*. Escolar Editora, Lisboa, Portugal.