

Impacto da aplicação de lama residual urbana e de fertilizantes minerais em solos sob pastagem no Alentejo

Impact of sewage sludge and mineral fertilizers application in soils under pasture from the Alentejo region

M.G. Serrão¹, J.C. Martins¹, P. Fareleira¹, M. A. Castelo Branco¹, A. Varela¹, H. Domingues¹, M. Fernandes¹, F. Pires¹, A. Guerreiro¹, J. Ramos¹ & A.M. Campos²

RESUMO

Avaliaram-se as alterações nos indicadores do solo pH em água, MO e N totais, catiões de troca, P, K, Cu e Zn “assimiláveis”, metais pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn) e bactérias de origem fecal, entre 2004 e 2007, em dois campos experimentais com pastagens, por efeito da aplicação de lama residual urbana (LRU) e da fertilização mineral. As modalidades incluíram as combinações de dois tipos de pastagem (natural e semeada) com três tratamentos (0, LRU e Adubação), na Herdade do Revez (Luvisolos e Leptossolos Háplicos) e com quatro tratamentos (0, LRU, LRU+Calagem e Adubação+Calagem), na Herdade da Criméia (Luvisolos Férricos).

Foram os teores médios de MO total e P “assimilável” as características químicas, comuns aos solos dos dois campos, em que o efeito benéfico das LRU na camada superficial foi significativo ($P \leq 5\%$). A aplicação de LRU também induziu os maiores acréscimos significativos de N total e de Mg de troca no solo da Herdade do Revez. A cala-

gem elevou o pH e o teor de Mg de troca do solo, na Herdade da Criméia. As LRU não contaminaram os solos com metais pesados. Os níveis populacionais de coliformes e de enterococos fecais aumentaram, logo após a aplicação das LRU, para decrescerem progressivamente ao longo do tempo, igualando-se aos das testemunhas.

Palavras-chave: adubação, contaminação, indicadores, lama residual urbana, pastagem.

ABSTRACT

We evaluated the changes in the soil indicators pH in water, total OM and N, exchangeable cations, available P, K, Cu, and Zn, heavy metals (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn), and faecal origin bacteria, between 2004 and 2007, as affected by sewage sludge (SS) application and mineral fertilisation in two field experiments with pastures. The treatments were the combinations of two types of pasture (natural and sown)

¹ L-INIA, INRB, I.P., Av. da República, 2784-505 Oeiras, e-mail: gserrao@netcabo.pt; ²DRAPAL, Quinta da Malagueira, Apartado 83, 7002-553 Évora

with three fertilisation treatments (0, SS, inorganic fertilisers) in the experiment of Herdade do Revez (Haplic Luvisols and Haplic Leptosols), and four fertilisation treatments (0, SS, Liming+SS, and Liming+inorganic fertilisers) in Herdade da Criméia (Ferric Luvisols).

The OM and available P contents were the chemical properties that significantly increased ($P \leq 5\%$) in the soil surface layer of both field experiments. The SS application also caused the highest significant increases in soil total N and exchangeable Mg contents in Herdade do Revez. Liming increased soil pH and exchangeable Mg, in Herdade da Criméia. The SS did not pollute the soils with heavy metals. The bacterial populations of faecal origin increased immediately after the SS application, but progressively decreased as time went by, reaching values similar to the controls.

Key-words: contamination, indicators, mineral fertilisation, pasture, sewage sludge.

INTRODUÇÃO

Entre as vantagens da aplicação ao solo de lamas residuais urbanas (LRU), é frequente referir-se a possibilidade de enriquecimento do solo em matéria orgânica e em alguns nutrientes das plantas, como o azoto, o fósforo, o cálcio e o enxofre (Dias, 2004). De igual modo, ao enunciar os inconvenientes da aplicação destes resíduos, é comum salientar o risco de contaminação do solo com metais pesados e/ou microrganismos patogénicos que as LRU podem veicular.

Em trabalhos anteriores, foram identificadas as alterações induzidas pela aplicação de LRU em alguns parâmetros físico-químicos de solos de diferentes unidades pedológicas, cultivados com consociações de misturas pratenses semeadas, para cortes sucessivos.

Foi o caso, em Luvisolos Háplicos na região de Mértola, das variações no pH e nos teores de M.O., N total, P e K “assimiláveis” e catiões de troca, durante dois anos, por efeito da LRU da ETAR de Évora (Serrão *et al.*, 2002), bem como em alguns compostos orgânicos poluentes, no ano seguinte à aplicação da LRU da mesma ETAR (Serrão *et al.*, 2005). Também foi apreciada a evolução da disponibilidade do P no solo (teor extraível pelo método de Egnér-Riehm), ao longo do tempo, num Leptossolo Dístico (Reguengos de Monsaraz) e num Cambissolo Dístico (Covilhã), após a aplicação das LRU de Elvas e Évora e de Belmonte e Viseu, respectivamente (Serrão *et al.*, 2001). Em ensaios em vasos, foi, ainda, comparada a potencialidade de libertação de P num Podzol Háplico (Pegões) e num Vertissolo Cálcico (Queluz) por um composto de resíduos sólidos urbanos e uma LRU da ETAR de Frielas (Serrão *et al.*, 2007).

Na sequência destas avaliações e da realizada para o 1º ano (2004-2005) de um campo experimental com pastagens pastoreadas por ovinos (Serrão *et al.*, 2008), este trabalho visa prosseguir a comparação, em três anos experimentais, das variações de indicadores de fertilidade e de contaminação metálica e fecal do solo, induzidas pela fertilização mineral e pela LRU neste e noutro campo, também situado no Alentejo.

MATERIAL E MÉTODOS

Ensaio

Os campos experimentais foram instalados no Outono de 2004, nos concelhos de Aljustrel (Herdade do Revez) e de Ourique (Herdade da Criméia), tendo sido conduzidos até ao final de Maio e de Julho de 2007, respectivamente.

O esquema experimental foi em “*split-plot*”, sendo os grandes talhões correspondentes a dois tipos de pastagem, natural e semeada. Na Herdade do Revez, estes talhões foram subdivididos em talhões de 0,5 ha, relativos a três tratamentos de fertilização (0, LRU e Adubação), enquanto que, na Herdade da Criméia, foram subdivididos em talhões de 0,5 ha, relativos a quatro tratamentos de fertilização (0, LRU, LRU+Calagem e Adubação+Calagem). Constituíram-se, assim, seis modalidades no campo do Revez (PN - Pastagem natural sem fertilização; PN+LRU - Pastagem natural com lama; PN+Adub. - Pastagem natural com adubação; PS - Pastagem semeada sem fertilização; PS+LRU - Pastagem semeada com lama; PS+Adub - Pastagem semeada com adubação) e oito Modalidades no campo da Criméia (PN - Pastagem natural sem fertilização; PN+LRU - Pastagem natural com lama; PN+LRU+Cal. - Pastagem natural com lama e calagem; PN+Adub.+Cal. - Pastagem natural com adubação e calagem;

PS - Pastagem semeada sem fertilização; PS+LRU+Cal. - Pastagem semeada com lama e calagem; PS+Adub.+Cal. - Pastagem semeada com adubação e calagem).

Aplicaram-se cerca de 12,8 t/ha de matéria seca (ms) de uma mistura de LRU das ETAR de Alvito e Vila Nova de Baronia (V. N. Baronia), numa proporção de 58% e 42% de ms, respectivamente, no campo do Revez, e uma dose correspondente a 6950 kg/ha de ms da LRU de Ferreira do Alentejo (F. Alentejo), no campo da Criméia. As LRU foram aplicadas, apenas, à data da instalação dos campos (Outubro de 2004).

Na caracterização físico-química (humidade, pH em água, MO, N total, C/N e teores de P, K, Ca, Mg, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn extraíveis por água régia) de amostras destas LRU, utilizaram-se os métodos indicados em Serrão *et al.* (2008). As LRU tinham baixa humidade e reacção ligeiramente ácida e similar (Quadro 1), sendo o teor de MO superior a 400 g kg⁻¹, nas LRU de F. Alentejo e V. N. Baronia.

Quadro 1 – Algumas características físico-químicas das LRU

Características	ETAR		
	Alvito	V. N.Baronia	F. Alentejo
Humidade (%)	5,6	9,6	7,9
pH (H ₂ O)	6,4	6,4	6,6
MO (g kg ⁻¹)	156	503	417
N total (g kg ⁻¹)	8,5	24,3	21,2
C/N	10,2	11,5	10,9
P total (g kg ⁻¹)	1,0	1,3	11,4
K total (g kg ⁻¹)	0,9	1,6	1,4
Ca total (g kg ⁻¹)	8,0	58	46
Mg total (g kg ⁻¹)	1,7	3,7	5,8
Cd água régia (mg kg ⁻¹)	5,8	4,8	4,6
Co água régia (mg kg ⁻¹)	5,4	5,7	9,5
Cr água régia (mg kg ⁻¹)	142	48	73
Cu água régia (mg kg ⁻¹)	71	204	211
Hg água régia (mg kg ⁻¹)	n.d.	n.d.	0,8
Ni água régia (mg kg ⁻¹)	11	21	44
Pb água régia (mg kg ⁻¹)	26	81	104
Zn água régia (mg kg ⁻¹)	414	1276	1356

n.d. - não detectado.

Nas três LRU, os teores de metais pesados eram inferiores aos valores - limite impostos pelo D.L. n.º 118/2006, que regula a aplicação de lamas em solos agrícolas.

A adubação de fundo dos talhões com fertilização mineral, à instalação das pastagens, foi calculada em função da caracterização físico-química do solo na área total do ensaio (em Maio de 2004) e, para o P e K, também na produção de matéria seca esperada (3-6 t/ha) da pastagem semeada. No campo do Revez, aplicaram-se N (25 kg/ha), P (61 kg/ha), K (104 kg/ha), Mo (0,05 kg/ha) e Zn (3,6 kg/ha) e no campo da Criméia, a adubação integrou N (25 kg/ha), P (33 kg/ha), K (104 kg/ha), Cu (1,3 kg/ha), Mo (0,05 kg/ha) e Zn (7,3 kg/ha). Utilizaram-se os adubos nitroamoniaco a 20,5% N, superfosfato 18% P₂O₅, cloreto de potássio 60% K₂O, molibdato de sódio, sulfato de cobre e sulfato de zinco. No campo da Criméia, a fertilização mineral também incluiu uma calagem cuja dose (2300 kg/ha) foi calculada através do valor neutralizante (183% CaCO₃) do correctivo (“cal apagada magnesiana”) e da “Necessidade de Cal” (4,1 t CaCO₃/ha) do solo, determinada pelo método de Kamprath (1970). Na aplicação dos fertilizantes, utilizaram-se distribuidores de estrupe e centrífugo, respectivamente, para a LRU e para os adubos (campo do Revez) ou adubos + correctivo (campo da Criméia). A incorporação no solo foi realizada até cerca de 15 cm de profundidade, por gradagem.

No final de 2006, aplicou-se superfosfato 18% e cloreto de potássio, nas modalidades com adubação. No campo do Revez, aplicaram-se 20 kg/ha de P e 63 kg/ha de K (pastagem natural) e 13 kg/ha de P e 50 kg/ha de K (pastagem semeada). No campo da Criméia, aplicou-se 30 kg/ha P e 60 kg/ha K em ambos os tipos de pastagem.

A mistura de espécies semeadas (30

kg/ha) incluiu cinco espécies de trevo, duas espécies de serradela, bissérula, azevém perene, panasco e alpista dos prados. As pastagens foram pastoreadas com 6 ovinos/talhão, nos três anos, no campo do Revez (ovinos em crescimento, em 2005, e ovinos adultos, nos anos seguintes), e apenas em 2006 e 2007, no campo da Criméia (ovinos adultos).

Solo

Nas áreas ocupadas pelos campos experimentais, os solos classificam-se como Luvisolos Háplicos e Leptossolos Háplicos (Herdade do Revez) e Luvisolos Férricos (Herdade da Criméia), de acordo com a nomenclatura da FAO (2001).

Entre 2004 e 2007, colheram-se amostras compósitas de terra (0-15/20 cm), nos talhões dos campos, em Setembro de 2004 (antes da aplicação dos fertilizantes) e em Novembro de 2004, Setembro de 2005 e de 2006 e em Maio e Julho de 2007, nos campos da Criméia e do Revez, respectivamente. Cada amostra compósita (2/talhão) foi constituída a partir de 3 a 4 pontos de amostragem em 2500 m².

Nas amostras de terra secas ao ar e crivadas (< 2 mm), determinaram-se os valores de pH (H₂O) e os teores de MO total, N total, P e K extraíveis pelo método de Egnér-Riehm (P e K Riehm), catiões de troca extraíveis por acetato de amónio, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn extraíveis por água régia e Cu e Zn “biodisponíveis” (extraíveis por acetato de amónio + ácido acético + EDTA), pelos métodos indicados em Serrão *et al.* (2008). Os valores analíticos obtidos nas modalidades e épocas de colheita de cada campo foram sujeitos a análise de variância (ANOVA) e ao teste de Fisher LSD ($P \leq 0,05$), para comparação de médias, com excepção dos teores de Cd, que não foram detectados.

Quadro 2 – Algumas características dos solos (0-15/20 cm), em Setembro de 2004

Característica	Campo do Revez		Campo da Criméia
	Franca a Franco-arenosa		Franca
Textura			
pH (H ₂ O)	5,4		5,0
MO (g kg ⁻¹)	22,0		24,7
N total (g kg ⁻¹)	1,25		0,92
P Riehm (mg kg ⁻¹)	14,4		27,6
K Riehm (mg kg ⁻¹)	34,2		33,3
Ca troca (cmol _(c) kg ⁻¹)	3,52		0,93
Mg troca (cmol _(c) kg ⁻¹)	1,50		0,19
Cu NH ₄ OAc + EDTA (mg kg ⁻¹)	1,9		0,37
Zn NH ₄ OAc + EDTA (mg kg ⁻¹)	0,82		0,36
Mo oxalato NH ₄ (mg kg ⁻¹)	<0,2		<0,2
Cd água régia (mg kg ⁻¹)	0,87		0,35
Cr água régia (mg kg ⁻¹)	23		32
Cu água régia (mg kg ⁻¹)	19		8
Ni água régia (mg kg ⁻¹)	20		14
Pb água régia (mg kg ⁻¹)	42		24
Zn água régia (mg kg ⁻¹)	62		18

No Quadro 2, mostram-se algumas características físico-químicas iniciais da camada superficial (0 -15/20 cm) dos solos, nas áreas experimentais dos dois campos.

A camada superficial dos solos tinha reacção ácida (4,6 <pH <5,5), segundo Costa (1979), mas no campo da Criméia, a acidez era mais acentuada. O teor médio de MO total era “médio” (20 a 50 g kg⁻¹), atendendo à textura (Costa, 1979). No campo do Revez, o teor médio de P Riehm era “baixo” (<22,2 mg kg⁻¹) para os cereais de Inverno (Almeida & Balbino, 1960) enquanto, no campo da Criméia, era “médio” (22,2 – 43,6 mg kg⁻¹), embora próximo do valor mais baixo deste intervalo. Os teores médios de K Riehm também eram baixos (<42,5 mg kg⁻¹) para a produção daquelas culturas (Almeida & Balbino, 1960). Os teores de Mg de troca eram “muito altos” (>1 cmol_(c) kg⁻¹) para uma produção normal, no campo do Revez e “baixos” (<0,25 cmol_(c) kg⁻¹), no campo da Criméia (Bolton, 1972). Os teores de Zn “biodisponível” (<2,0 mg kg⁻¹) e de Mo extraível (<0,2 mg kg⁻¹) eram “baixos”, em

ambos os campos, bem como o de Cu “bio-disponível” (≤0,8 mg kg⁻¹), no campo da Criméia (LQARS, 2000). Os teores de metais pesados extraíveis por água-régia eram inferiores aos valores limite legislados (Decreto-Lei nº 118/2006), para solos com pH (H₂O) inferior a 5,5.

Para a prospecção de indicadores de contaminação fecal (coliformes totais, coliformes fecais, *E. coli* e *Enterococcus*), efectuaram-se 6 amostragens de terra (0-5/10 cm), nos talhões das modalidades com e sem aplicação de LRU (campo de Revez) e em todas as modalidades (campo da Criméia). As colheitas ocorreram em Outubro de 2004, Abril e Novembro de 2005 e Setembro e Novembro de 2006, nos dois campos e em Maio e Julho de 2007 (campo do Revez e da Criméia, respectivamente), sendo realizadas, em cada talhão, em transecto diagonal e num mínimo de três amostras.

O método de contagem dos níveis populacionais dos indicadores foi descrito em Serrão *et al.* (2008). A estimativa do Número Mais Provável (NMP) da população de

cada indicador foi efectuada através do programa *MNP Calculator* (Curiale, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos indicadores de fertilidade e de contaminação com metais pesados dos solos dos dois campos não se diferenciaram ($P \leq 0,05$), como resultado da conjugação dos três factores de variação experimental - Tipo de pastagem, Tratamento de fertilização e Data de amostragem. Exceptuou-se, apenas, o teor de Na de troca, no campo da Criméia (Quadro 3), cujos valores mais elevados ($P \leq 0,05$), em relação às testemunhas, se registaram em Novembro de 2004 (PN+LRU), em Setem-

bro de 2006 (PN+LRU e PN+Adub.+Cal.) e em Maio de 2007 (PS+LRU+Cal.).

A interacção Tipo de pastagem x Tratamento de fertilização, na média das datas de amostragem, foi significativa ($P \leq 0,05$) para os teores de MO total, P Riehm e Mg de troca dos solos dos dois campos e, ainda, para os teores de K Riehm e de K de troca, no campo do Revez e para o valor de pH, no campo da Criméia. Assim, foi possível distinguir os efeitos das modalidades nos valores destes indicadores, na média das datas de amostragem (Quadros 4 e 5).

A aplicação de LRU ao solo do campo do Revez induziu os maiores teores de MO total, N total, P Riehm e Mg de troca, em ambos os tipos de pastagem (Quadro 4), mas não alterou os teores de K de troca,

Quadro 3 - Teores médios de Na de troca na camada superficial do solo (0-15/20 cm) do campo da Criméia, em cinco datas de amostragem

Modalidade	Na troca (cmol _(c) kg ⁻¹)				
	Set. 2004	Nov. 2004	Set. 2005	Set. 2006	Mai 2007
PN	0,11hijklmn	0,11hijklmn	0,28abc	0,14fghijk	0,23bcdef
PN+LRU	0,11hijklmn	0,32ab	0,26abcd	0,26abcd	0,19cdefghi
PN+LRU+Cal.	0,10ijklmn	0,02n	0,25bcde	0,23bcdef	0,24bcde
PN+Adub.+Cal.	0,12hijklm	0,05klmn	0,26abcd	0,35a	0,26abcd
PS	0,12hijklm	0,04lmn	0,26abcd	0,13ghijkl	0,16efghij
PS+LRU	0,10ijklmn	0,02n	0,26abcd	0,17defghij	0,22cdefg
PS+LRU+Cal.	0,12hijklm	0,03mn	0,24bcde	0,20cdefgh	0,28abc
PS+Adub.+Cal.	0,09jklmn	0,02n	0,23bcdef	0,20cdefgh	0,24bcde

Valores na mesma coluna ou linha, seguidos de igual letra, não diferem significativamente ($P \leq 0,05$).

Quadro 4 – Teores médios de MO total, N total, P Riehm, K Riehm, Mg de troca e K de troca, no solo do campo do Revez, na média das cinco datas de colheita

Modalidade	MO total (g kg ⁻¹)	N total (g kg ⁻¹)	P Riehm (mg kg ⁻¹)	K Riehm (mg kg ⁻¹)	Mg de troca (cmol _(c) kg ⁻¹)	K de troca (cmol _(c) kg ⁻¹)
PN	26,2d	1,15d	11c	25c	1,25c	0,14c
PN+LRU	35,5a	1,67a	108a	34bc	1,70ab	0,19bc
PN+Adub.	32,5bc	1,38c	18c	39bc	1,47bc	0,22bc
PS	30,4c	1,40c	13c	46b	1,39bc	0,27b
PS+LRU	35,2ab	1,61ab	56b	30c	1,89a	0,20bc
PS+Adub.	31,8c	1,45bc	29bc	70a	1,15c	0,47a

Valores na mesma coluna, seguidos de igual letra, não diferem significativamente ($P \leq 0,05$).

Quadro 5 - Valores médios de pH, MO total, N total, P Riehm e Mg de troca no solo do campo da Criméia, na média das cinco datas de colheita

Modalidade	pH (H ₂ O)	M.O. total (g kg ⁻¹)	P Riehm (mg kg ⁻¹)	Mg de troca (cmol _(c) kg ⁻¹)
PN	5,2d	24,7c	19d	0,22d
PN+LRU	5,2d	30,1a	40ab	0,26d
PN+LRU+Cal.	5,7c	30,0a	44ab	1,06bc
PN+Adub.+Cal.	5,7c	30,2a	27cd	0,76c
PS	5,1d	26,9b	26cd	0,14d
PS+LRU	5,1d	28,8ab	32bc	0,17d
PS+LRU+Cal.	6,3a	30,0a	42ab	1,60a
PS+Adub.+Cal.	6,1b	27,0b	46a	1,08b

Valores na mesma coluna, seguidos de igual letra, não diferem significativamente ($P \leq 0,05$).

nem os de K Riehm em PN+LRU. A adubação, no solo com pastagem natural (PN+Adub.), também aumentou os teores de MO total e de N total, em relação aos do solo da modalidade testemunha (PN), não se distinguindo desta em relação aos restantes indicadores. Na pastagem semeada, a adubação só afectou os teores de K Riehm e de K de troca, que atingiram os valores mais elevados.

No solo do campo da Criméia, o teor de MO total aumentou nas modalidades da pastagem natural com fertilização, orgânica e/ou inorgânica (PN+LRU, PN+LRU+Cal. e PN+Adub.+Cal.), com acréscimos semelhantes (Quadro 5). Todavia, na pastagem semeada, o teor de MO só se elevou na modalidade PS+LRU+Cal.. O teor de P “assimilável” aumentou apreciavelmente nas duas modalidades com LRU dos dois

tipos de pastagem, embora na modalidade PS+LRU o acréscimo não fosse significativo. A fertilização mineral teve efeito significativo no teor de P, mas apenas no solo da pastagem semeada, onde atingiu o maior valor, embora similar aos obtidos com LRU. Nos dois tipos de pastagem, a calagem aumentou o valor de pH e o teor de Mg de troca, que eram baixos no início do período experimental, o que pode explicar-se pelas quantidades apreciáveis de Ca (1058 kg/ha) e de Mg (276 kg/ha) veiculadas para o solo através do correctivo.

Os acréscimos induzidos pela incorporação da mistura das LRU no teor de MO total da camada superficial de ambos os solos seriam de esperar, dada a quantidade elevada de MO (cerca de 3872 kg/ha e 2900 kg/ha, respectivamente nos campos do Revez e da Criméia) contida na dose utilizada.

Quadro 6 - Intervalo de variação dos teores de Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn extraídos pela água régia na camada superficial do solo do Campo do Revez, em cinco datas de amostragem

Modalidade	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
	mg kg ⁻¹						
PN	23 - 34	13 - 26	160 - 192	545 - 675	18 - 22	28 - 44	62 - 74
PN+LRU	23 - 38	22 - 36	233 - 318	648 - 747	22 - 48	29 - 50	74 - 88
PN+Adub.	25 - 33	17 - 32	200 - 227	606 - 784	21 - 32	23 - 47	56 - 80
PS	23 - 37	20 - 26	225 - 241	594 - 746	22 - 28	24 - 50	62 - 78
PS+LRU	24 - 39	19 - 42	171 - 215	552 - 738	23 - 32	24 - 59	67 - 86
PS+Adub.	23 - 34	23 - 28	194 - 271	633 - 848	21 - 46	24 - 59	68 - 88

Quadro 7 - Intervalo de variação dos teores de Cr, Cu, Fe, Mn, N, Pb e Zn extraídos pela água régia na camada superficial do solo do Campo da Criméia, em cinco datas de amostragem

Modalidade	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹							
PN	nd - 61	5 - 11	45- 76	294 - 528	nd - 17	26 - 31	12 - 16
PN+LRU	nd - 55	4,0 - 8	22 - 38	303- 460	nd - 60	20 - 28	13 - 26
PN+LRU+Cal.	nd - 55	6,0 - 8	24 - 44	307- 360	nd - 13	20 - 31	16 - 20
PN+Adub.+Cal.	nd - 65	6,0-10	25 - 77	163 -570	nd - 18	18 - 32	16 - 24
PS	nd - 57	5,2 - 7	28 - 40	352- 406	nd - 11	18 - 49	13 - 28
PS+LRU	nd - 55	6,0 - 8	28 - 50	296 - 478	nd - 13	17 - 36	14 - 19
PS+LRU+Cal.	nd - 49	5 - 8	27 -338	290 - 411	nd - 14	18 - 31	15 - 21
PS+Adub.+Cal.	nd - 57	6,0 -10	27 - 36	201 - 415	nd - 13	16 - 34	17 - 23

O P foi adicionado pela LRU ao solo em quantidade bastante inferior à da adubação, respectivamente 14,5 e 61 kg/ha, no campo do Revez e 15 e 33 kg/ha, no campo da Criméia. Assim, o maior efeito da LRU no teor de P “assimilável”, no campo do Revez, e os acréscimos geralmente similares decorrentes da fertilização mineral e da aplicação da LRU, no campo da Criméia, podem atribuir-se, provavelmente, à presença nas LRU, de formas solúveis de P em quantidades apreciáveis (Brito, 1986) e à mineralização, ao longo do tempo, de compostos orgânicos de P nelas existentes.

Nos Quadros 6 e 7, mostram-se os intervalos de variação dos teores de Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn extraídos pela água régia, durante o período experimental. A aplicação de LRU e a adubação mineral não induzi-

ram contaminação do solo com Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, dado que os teores destes elementos foram inferiores aos valores limite de concentração no solo (Decreto-Lei 118/2006).

No campo do Revez, os maiores intervalos de variação dos teores de Cu e Zn “biodisponíveis” ocorreram nas modalidades com aplicação de LRU (Quadro 8). Todavia, os teores de Cu não ultrapassaram os considerados adequados, no intervalo 0,9 a 7,0 mg kg⁻¹ (LQARS, 2000), enquanto que, para os teores de Zn “biodisponível”, foram atingidos valores dos intervalos das classes consideradas muito alta (>10 mg kg⁻¹) e alta (3,6-10 mg kg⁻¹), em PN+LRU e em PS+LRU, respectivamente (LQARS, 2000).

No campo da Criméia, os teores de Cu “biodisponível” subiram com a aplicação

Quadro 8 - Intervalo de variação dos teores de Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn extraídos por Acetato NH₄ + EDTA na camada superficial dos solos dos campos, em cinco datas de amostragem

Modalidade	Campo da Herdade do Revez		Campo da Herdade da Criméia	
	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
PN	0,96 - 1,56	0,68 - 1,00	0,30 - 0,44	0,23 - 1,38
PN + LRU	1,49 - 4,71	0,83 - 12	0,41 - 1,15	0,60 - 5,10
PN + Adub.	0,77 - 2,54	0,88 - 3,50	-	-
PN+LRU+Cal.	-	-	0,12 - 1,40	0,11 - 4,64
PN+Adub.+Cal	-	-	0,27 - 2,00	0,28 - 4,00
PS	1,86 - 2,32	0,75 - 1,43	0,24 - 1,20	0,17 - 0,66
PS + LRU	1,40 - 4,25	0,92 - 7,72	0,32 - 1,22	0,52 - 4,80
PS + Adub.	1,21 - 2,00	0,76 - 3,75	-	-
PS+LRU+Cal.	-	-	0,39 - 1,10	0,45 - 2,8
PS+Adub.+Cal.	-	-	0,61 - 2,35	0,45 - 4,40

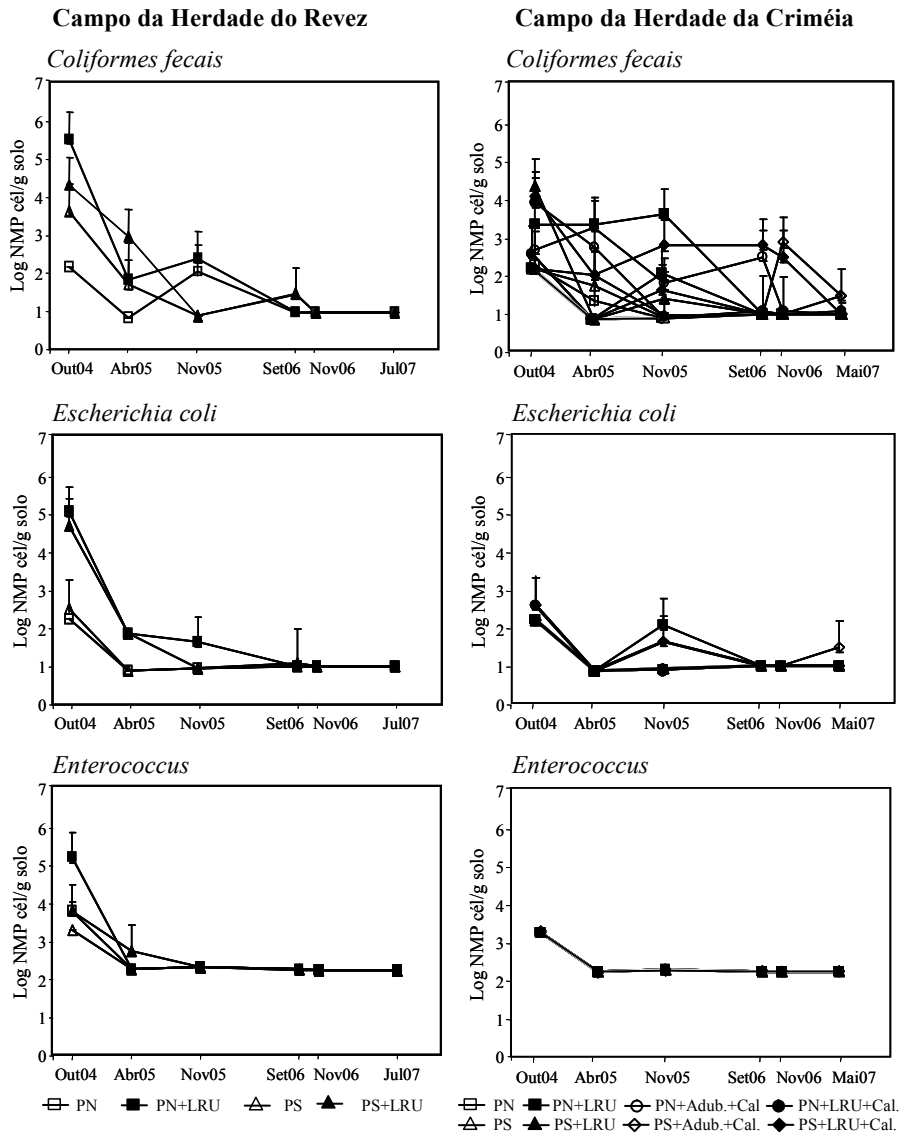


Figura 1 - Evolução dos Números Mais Prováveis (NMP) de indicadores de contaminação fecal (*Coliformes fecais*, *Escherichia coli* e *Enterococcus*) nos solos, ao longo do período experimental (2004-2007), nos campos das Herdades do Revez e da Criméia.

dos fertilizantes, na pastagem natural, e somente com a adubação, na pastagem semeada, verificando-se, todavia, uma ten-

dência para maior solubilização do Cu veiculado pelo adubo (Quadro 8). Os níveis de Zn “biodisponível”, após aplicação da LRU

ou do adubo, nos dois tipos de pastagem, variaram entre valores considerados de carência ($<0,6 \text{ mg kg}^{-1}$) e valores altos ($>3,6 \text{ mg kg}^{-1}$), pelo LQARS (2000).

A aplicação das LRU aos solos de ambos os campos induziu aumentos imediatos dos níveis populacionais dos microrganismos indicadores de contaminação fecal, relativamente aos talhões sem fertilização, nos dois tipos de pastagem, sugerindo contaminação do solo por bactérias entéricas (Figura 1). Porém, as colheitas seguintes revelaram decréscimos progressivos das populações dos indicadores nas modalidades em que o resíduo foi adicionado, atingindo níveis idênticos aos observados nas respectivas testemunhas, indicando que já não existiam bactérias entéricas provenientes das LRU no solo.

No que respeita a *Enterococcus* no solo da Herdade da Criméia, os níveis populacionais deste microrganismo no solo mantiveram-se sempre abaixo dos limites de detecção do método de contagem, em todas as colheitas e modalidades, mostrando que, no caso deste solo e/ou da LRU aplicada, não funciona como indicador de contaminação fecal.

CONCLUSÕES

Para ambos os tipos de pastagem, a aplicação de LRU aos solos dos dois campos aumentou o teor de MO total na camada superficial. A adubação só teve efeito positivo, inferior ao da LRU, nos solos sob pastagem natural.

A aplicação de LRU ou de LRU com calagem aumentou, no geral, mais do que a fertilização mineral, os teores de P “assimilável”, apesar da maior quantidade de P veiculada ao solo pela adubação.

A adubação e a aplicação de LRU tiveram reduzido impacto nos teores de K “assimi-

lável” e de K de troca na camada superficial dos solos, com maior expressão no campo do Revez, sob pastagem semeada.

A aplicação de LRU aos solos dos dois campos não induziu contaminação com metais pesados.

A incorporação das LRU nos solos de ambos os campos não envolveu riscos de longo prazo no que se refere à contaminação do solo por microrganismos patogénicos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho realizou-se no âmbito do Projecto AGRO 414 (2004-2007). Agradece-se aos proprietários das Herdades do Revez e da Criméia as facilidades concedidas e a Odete Morgado, Maria de Lurdes Cravo, Maria Clara Pegado, Rosa Rocha, Maria Albertina Massena e Maria Delfina Navalhas (UARN, L-INIA, INRB) 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.
- 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. ISA, Lisboa.
- 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. Reciclamos – Multigestão ambiental, S.A., Lisboa.
- 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.
- Kamprath, E.J. 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Science Society of America Proceedings, 34: 252-254.
- LQARS 2000. Manual de Fertilização das Culturas. INIA – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, Lisboa.
- Serrão, M.G., Neves, M.J. & Fernandes, M.L. 2001. Efeito residual da aplicação de lamas de ETAR na disponibilidade do fósforo num Litossolo derivado de xistos e num Solo Litólico Não Húmico de granitos cultivados com pastagens. Revista de Ciências Agrárias, 24 (3 e 4): 193-201.
- 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., 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., Pedra, F. & Domingues, H. 2007. Comparação entre dois correctivos orgânicos quanto à disponibilidade do fósforo para o azevém. Revista de Ciências Agrárias, 30 (2): 109-121.
- Serrão, M.G., Varela, A., Fareleira, P., Castelo Branco, M.A., Fernandes, M., Martins, J., Pires, F.P., Ramos, J.B., Monteiro, O. & Dordio, A. 2008. Fertilidade e contaminação por metais pesados e microrganismos fecais de um solo sob pastagem pela aplicação de lama residual urbana. Revista de Ciências Agrárias (em publicação).