

# Monitorização da aplicação de lamas de ETAR em solos delgados

## Application of municipal sewage sludge to agricultural land in shallow soils

Rui Fernandes<sup>1</sup>, Cristina Sempiterno<sup>1</sup>, Lúcia Farropas<sup>1</sup>, Amélia Castelo Branco<sup>1</sup> e Artur Lagartinho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INIAV-Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária. Unidade Estratégia de Investigação e Serviços de Sistemas Agrários e Florestais e Sanidade Vegetal. LQARS - Tapada da Ajuda, Apartado 3228, 1301-903 Lisboa, Portugal. E-mail: rui.fernandes@iniav.pt

<sup>2</sup> Centro de Educação Ambiental do Vale Gonçálinho, Liga para a Protecção da Natureza. Herdade do Vale Gonçálinho, Apartado 84, 7780 Castro Verde. Portugal

Recebido/Received: 2014.01.23

Aceitação/Accepted: 2014.03.18

### RESUMO

A valorização agrícola de lamas de ETAR (lamas residuais urbanas), através da sua aplicação ao solo, em especial numa zona com solos de pouca espessura, exige que se validem os limites considerados tóxicos de metais *pesados*, em relação ao solo e a culturas.

Para a execução do objetivo em estudo foram selecionadas quatro explorações na área cerealífera de Castro Verde, às quais foram aplicados os tratamentos experimentais (T1- adubação tradicional (AT); T2- ripagem (R) + AT; T3 – R +AT+ injeção de lamas (IL) e T4 – R + adubação recomendada + IL), onde se pretendeu além de verificar o efeito da injeção de lamas, relacioná-la com modalidades de fertilização. Em três das explorações foi semeado trigo mole (*Triticum aestivum*) e numa delas semeou-se aveia (*Avena sativa*). Utilizou-se uma lama, proveniente da ETAR de Castro Verde, por apresentar níveis de microrganismos e teores de metais *pesados*\* abaixo dos limites estabelecidos por lei (Decreto-Lei n.º 276/2009). Os resultados revelaram que a aplicação de lamas, com elevado teor de humidade, não poluiu o solo em Cd, Cu, Ni, Pb, Cr, Zn e Hg. Em todas as explorações os teores detetados destes metais, em todos os tratamentos, foram inferiores aos limites de concentração inaceitáveis. Os tratamentos também não provocaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) sobre os teores de metais *pesados* doseados nas culturas.

**Palavras-chave:** *Avena sativa*, Lamas de ETAR, metais *pesados*, *Triticum aestivum*, valorização agrícola.

### ABSTRACT

Application of municipal sewage sludge to agricultural land, especially in shallow soils, demands to validate the maximum amount of *heavy* metal, monitoring its effects on soil and on crops. To achieve this goal, four farms, considered replicates, were chosen in Castro Verde region, to apply four experimental treatments (T1 – conventional fertilization (CF); T2 – subsoiling (S) + (CF); T3 – (S) + (CF) + sludge injection (SI) and T4 – (S) + recommended fertilization (RF) + (SI)), to get mixing effects of sludge injection with fertilization modalities.

They were sown wheat (*Triticum aestivum*) and oat (*Avena sativa*) as test crops, and sewage sludge, containing heavy metals level according to law (MAOTDR, 2009), was furnished by Castro Verde sewage treatment plants.

Results did not show any soil pollution by the metals Cd, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn and Hg, and the treatments did not affect significantly ( $p > 0.05$ ) the crops. This study validated, at these particular conditions, *heavy* metals limits established by law to avoid health and environmental risks.

**Keywords:** agronomic valorization, *Avena sativa*, *heavy* metal, municipal sewage sludge, *Triticum aestivum*

\*Dado que os autores consideram que o peso dos metais em causa não constitui base satisfatória de classificação, de acordo com Duffus (2002), esta designação virá em itálico em todo o documento.

## Introdução

As intervenções sobre sistemas de menor capacidade homeostática, como sejam os solos de reduzida espessura, devem ser controladas de forma criteriosa para evitar/mitigar desequilíbrios com consequências negativas para o solo e para o ambiente.

Os solos da zona em estudo são em grande parte Leptosolos líticos (FAO, 2006), derivados de xisto constituindo um grupo de solos que abrange cerca de 15% da área do país, caracterizada por clima árido com baixas precipitações (inferior a 600-700 mm). Em termos gerais apresentam reação ácida, pouca espessura e baixa capacidade de troca catiônica, efeito do seu baixo teor em carbono orgânico, pelo que são considerados de inferior resiliência às ações físicas ou químicas (Madeira, 1998; Lal, 1998).

A aplicação de matéria orgânica ao solo é uma forma muito importante de o melhorar, pelos inúmeros benefícios diretos e indiretos (Brady e Weil, 2002), sendo a aplicação de lamas de ETAR ao mesmo, uma potencial via para obtenção de tal propósito. No entanto, este material apresenta na sua constituição uma enorme diversidade de constituintes orgânicos, inorgânicos e microbiológicos, dada a sua múltipla proveniência, pelo que a monitorização da sua aplicação, através da análise química do solo, e de espécies vegetais instaladas, de preferência para consumo (animal ou humano), é uma forma real de controlar os efeitos. De entre os constituintes passíveis de provocar contaminação destacam-se os metais *pesados* (Cu, Ni, Zn, Cd, Cr, Hg e Pb) em relação aos quais estão estabelecidos limites máximos por lei (MAOTDR, 2009). Embora sejam cumpridas as restrições impostas por lei aquando da sua aplicação ao solo, a validação para situações concretas consideradas sensíveis, como é o caso em estudo, é uma forma de obter confiança na intervenção sendo o doseamento total destes elementos no solo e na planta usada como teste um critério adequado para dimensionar a provável contaminação (Singh, 1998).

O presente trabalho, parte de um projeto com objetivos mais abrangentes, pretende mostrar os efeitos da aplicação ao solo de lamas de ETAR no solo e em duas culturas (trigo e aveia), em termos de metais *pesados*, numa extensa área cerealífera integrada numa zona especial de proteção de aves (ZPE) de Castro Verde, inclusa num conjunto de concelhos considerados como “áreas rurais desfavorecidas” (Rural Value, 2011).

## Material e Métodos

### *Delineamento experimental*

Aplicou-se o delineamento experimental em blocos completos casualizados com 4 tratamentos [T1-Testemunha: adubação tradicional (AT); T2-Ripagem (R) + adubação tradicional (AT); T3-Ripagem (R) + adubação tradicional (AT) + injeção de lamas (IL) e T4 - Ripagem (R) + adubação recomendada (AR) + injeção de lamas (IL)] e 4 repetições executadas em quatro explorações agrícolas da região (37° 40' N, 8° 07' W); “Longos” (L), “Monte Paraíso” (MP), “São Marcos” (SM) e “Vale Gonçalinho” (VG). Em cada uma das explorações foram aplicados os tratamentos (T1, T2, T3 e T4) concebidos para o estudo em causa, ocupando uma área útil variável consoante a exploração, conforme o descrito no Quadro 1. Foram aplicadas em todas as parcelas a quantidade de 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de lamas, perfazendo um total aproximado de 2200 m<sup>3</sup> no conjunto das explorações. A ripagem (R) foi executada com um trator de rastos à profundidade de 50 cm.

As diversas operações relativas ao trabalho em causa decorreram nos anos de 2009 (2º semestre) e 2010 (1º semestre). Na análise estatística dos dados experimentais utilizou-se o programa informático *Statgraphics*, versão 5.1 *plus*, tendo-se recorrido à análise de variância (ANOVA tipo II) para avaliação do efeito dos diferentes tratamentos experimentais sobre as diversas variáveis controladas; ao teste múltiplo de comparação de médias Duncan (p=0,05) para comparação *a posteriori* das médias correspondentes às modalidades experimentais.

A lama foi injetada no solo com o recurso a um equipamento específico (injetor de lamas) até à profundidade de 0,30-0,50 m.

Enquanto a adubação realizada nas parcelas T1, T2 e T3 de cada exploração ficou ao critério de cada agricultor (adubação tradicional), nas parcelas T4 a adubação realizada foi concebida com base nos resultados analíticos obtidos nas amostras de terra e cumprindo com o Manual de Fertilização das Culturas (LQARS, 2006) especificamente para cada um dos cereais (adubação recomendada) (Quadro 2).

### *Caracterização das lamas*

Foi selecionada a ETAR de Castro Verde para fornecer as lamas necessárias ao estudo, por possuir capacidade de aplicar o tratamento primário às águas residuais, por ter maior dimensão permitindo o fornecimento da quantidade de lamas necessárias e porque era a que apresentava maior proximidade às explorações. A metodologia analítica utilizada na análise química das lamas cumpriu o estabelecido no Anexo II do Decreto-Lei n.º 276/2009.

**Quadro 1** – Áreas (ha) das parcelas correspondentes aos tratamentos em cada exploração.

Tratamento	Longos	Monte Paraíso	São Marcos	Vale Gonçalves
T1	10,05	3,91	6,06	4,76
T2	9,18	3,62	8,99	3,92
T3	9,80	3,47	8,72	4,67
T4	11,06	3,73	8,26	4,76

**Quadro 2** – Adubação tradicional e recomendada (kg ha<sup>-1</sup> de tipo de adubo) aplicada nas quatro explorações.

Exploração	Trat <sup>os</sup>	Adubação de fundo	Adubação de cobertura
V. Gonçalves	T1 a T3	*	150 (Nitrolusal 27%)
	T4	*	60 (Nitrolusal 27%) 200 (20:08:05)
Longos	T1 a T3	100 (18:46:0)	*
	T4	500 (7:14:7)	*
S. Marcos	T1aT3	200 (7:21:0)	150 (Nitrolusal 27%)
	T4a	200 (15:15:15) 400 (Superfosfato 18%)	150 (Nitrolusal 27%)
	T4b	200 (15:15:15) 150 (7:21:0)	*
M. Paraíso	T1 a T3	*	150 (Nitrolusal 27%)
	T4	200 (15:15:15) 200 (Superfosfato 18%)	150 (Nitrolusal 27%)

\* Por motivos de ordem climática (precipitação intensa acompanhada de saturação do solo) não foi possível efetuar esta operação

O teor elevado de humidade das lamas aplicadas ao solo resulta do facto de se tratar de lamas originalmente líquidas e à necessidade de serem diluídas de modo a facilitar a sua injeção ao solo. A lama aplicada apresentava níveis de *E. coli* inferiores a 1000 células por g de amostra e ausência de *Salmonella* spp. em 50 g de amostra. Os teores de metais pesados apresentavam-se, também, abaixo dos limites estabelecidos por lei (Quadro 3).

#### Caracterização dos solos

A análise pedológica indica que os solos da zona onde decorreu o estudo são, na maioria dos casos (cerca de 80% da área em estudo), Leptosolos Líticos, caracterizados pela sua reduzida espessura e com apreciável quantidade de material grosseiro, formando crosta nos cabeços e encostas, e Cambissolos ou Fluvisolos

(por vezes Hidromórficos) junto às linhas de água (AGRO 140, 2005; FAO, 2006; Rural Value, 2011).

No Quadro 4 apresentam-se algumas das características químicas médias dos solos das explorações selecionadas obtidas por análise de amostras de terra representativas colhidas à profundidade de 0-0,20 m. Estas análises iniciais indicam que estes solos são pouco ácidos, com teores médios a baixos de fósforo e de potássio, teores de matéria orgânica variando de baixos a médios, apresentam capacidade de troca catiónica baixa a muito baixa, teores muito altos de ferro e manganês, muito baixos a baixos de zinco, médios de cobre e baixos de boro. Os teores totais dos metais, doseados de acordo com o estabelecido pela legislação (extração por *aqua regia*), são os indicados nos Quadros 5 a 8 e são inferiores aos limites estabelecidos no Decreto-Lei n.º 276/2009.

**Quadro 3** – Resultados da análise química e microbiológica da lama aplicada no solo das quatro explorações com indicação dos valores-limite (Dec<sup>o</sup> Lei 276/2009) dos metais *pesados*\*\* em mg.kg<sup>-1</sup>.

Parâmetros		Lama aplicada	Valores limite*
Humidade	%	99,8	
pH <sub>H2O</sub>		6,58	
CE	mS/cm	1,56	
MO	%	0,10	
N <sub>tot</sub>	%	0,02	
Cu <sub>tot</sub>	mg.kg <sup>-1</sup>	740	[1000]
Zn <sub>tot</sub>	mg.kg <sup>-1</sup>	895	[2500]
Ni <sub>tot</sub>	mg.kg <sup>-1</sup>	25	[300]
Cr <sub>tot</sub>	mg.kg <sup>-1</sup>	15	[1000]
Cd <sub>tot</sub>	mg.kg <sup>-1</sup>	<15	[20]
Pb <sub>tot</sub>	mg.kg <sup>-1</sup>	70	[750]
Hg <sub>tot</sub>	mg.kg <sup>-1</sup>	1,5	[16]
<i>E. coli</i>	n.º cel./g mat. fresco	3,60E+02	
<i>Salmonella</i> spp.	em 50 g de mat. fresco	Ausente	

tot – total; \* valores limite estabelecidos no DL 276/2009; \*\* doseados na matéria seca

**Quadro 4** – Características químicas médias dos solos de Vale Gonçalves, Longos, São Marcos e Monte Paraíso.

Parâmetros		Vale Gonçalves	Longos	S. Marcos	M. Paraíso
pH		6,0	5,9	5,90	6,0
C org	%	0,89	1,0	0,90	0,92
M Orgânica	g.kg <sup>-1</sup>	15,3	1,7	1,52	1,58
N tot	g.kg <sup>-1</sup>	0,9	0,1	0,09	0,09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg.kg <sup>-1</sup>	31	62	37	38
K <sub>2</sub> O	mg.kg <sup>-1</sup>	59	57	62	47
Mg	mg.kg <sup>-1</sup>	151	153	205	144
Fe	mg.kg <sup>-1</sup>	141	124	136	137
Mn	mg.kg <sup>-1</sup>	149	123	119	169
Zn	mg.kg <sup>-1</sup>	0,56	1,05	0,8	0,58
Cu	mg.kg <sup>-1</sup>	1,31	1,52	1,3	1,90
B	mg.kg <sup>-1</sup>	0,35	0,28	0,3	0,32
CTC	cmol(+).kg <sup>-1</sup>	5,44	4,17	7,5	5,86

#### Caraterização das plantas

Em três das explorações, S. Marcos, Monte Paraíso e Longos, foi semeada a cultura de trigo (*Triticum aestivum* L.). No Monte Paraíso foi semeada a cultura de aveia (*Avena sativa* L.). As sementeiras realizadas nas quatro explorações agrícolas foram feitas com a utilização de semeadores diretos, não podendo no entanto ser considerada a operação como sementeira direta por ter sido feita uma mobilização do solo prévia. Para a avaliação da composição química do cereal procedeu-se ao doseamento dos metais em causa em amostras de material vegetal, analisadas com

base na metodologia do LQARS (LQARS, 1977) e colhidas de acordo com o Manual já referido (LQARS, 2006).

## Resultados e discussão

#### Efeitos no solo

Comparando os teores iniciais dos elementos estudados com os atingidos nos diferentes tratamentos após a colheita da cultura (Quadros 5 a 8) verificou-se que à exceção do cádmio, ocorreu um acréscimo

em valores absolutos nos teores de todos os metais em estudo no solo, com a aplicação de lama e adubação tradicional (T3) no Vale Gonçalves e no Monte Paraíso.

Em Longos, a aplicação de lama com adubação tradicional (T3) e com adubação recomendada (T4) só deu origem a um ligeiro acréscimo nos teores de crómio. Apesar dos ligeiros acréscimos detetados, os diferentes tratamentos não atingiram níveis considera-

dos poluentes do solo em cádmio (Cd) cobre (Cu) níquel (Ni) chumbo (Pb) zinco (Zn) e mercúrio (Hg) em todas as explorações, uma vez que os teores encontrados foram inferiores aos valores limite de concentração desses metais no solo referidos no Decreto-Lei n.º 276/2009, e em Pais e Jones (1997).

Em Vale Gonçalves verificou-se não haver diferença entre tratamentos sobre o teor de Cd; a ripagem com adubação tradicional fez decrescer espe-

**Quadro 5** – Teores de Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg e Cr totais no solo, no início do ensaio e após a colheita da cultura, observados na exploração de Vale Gonçalves.

Parâmetros		Início	Após a colheita da cultura				Valores limite*
			T1	T2	T3	T4	
Cd	mg.kg <sup>-1</sup>	<0,17	<0,17	<0,17	<0,17	<0,17	3
Cu	mg.kg <sup>-1</sup>	17	17	14	19	16	100
Ni	mg.kg <sup>-1</sup>	18	18	15	21	19	75
Pb	mg.kg <sup>-1</sup>	33	42	41	39	23	300
Zn	mg.kg <sup>-1</sup>	48	78	66	66	57	300
Hg	mg.kg <sup>-1</sup>	0,03	0,022	0,026	0,031	0,037	1,5
Cr	mg.kg <sup>-1</sup>	22	25	28	29	21	200

\*valores estabelecidos pelo DL 276/2009

**Quadro 6** – Teores de Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg e Cr totais no solo, no início do ensaio e após a colheita da cultura, observados na exploração de Longos.

Parâmetros		Início	Após a colheita da cultura				Valores limite
			T1	T2	T3	T4	
Cd	mg.kg <sup>-1</sup>	<0,17	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	3
Cu	mg.kg <sup>-1</sup>	18	18	21	11	12	100
Ni	mg.kg <sup>-1</sup>	20	19	20	16	15	75
Pb	mg.kg <sup>-1</sup>	26	25	25	23	23	300
Zn	mg.kg <sup>-1</sup>	45	50	51	39	44	300
Hg	mg.kg <sup>-1</sup>	0,03	0,025	0,029	0,024	0,027	1,5
Cr	mg.kg <sup>-1</sup>	22	26	26	24	23	200

\*valores estabelecidos pelo DL 276/2009

**Quadro 7** – Teores de Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg e Cr totais no solo, no início do ensaio e após a colheita da cultura, observados na exploração de São Marcos.

Parâmetros	Unidades	Início	Após a colheita da cultura				Valores limite*
			T1	T2	T3	T4	
Cd	mg.kg <sup>-1</sup>	<0,17	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	3
Cu	mg.kg <sup>-1</sup>	14	13	14	16	19	100
Ni	mg.kg <sup>-1</sup>	18	17	18	21	23	75
Pb	mg.kg <sup>-1</sup>	25	20	21	19	23	300
Zn	mg.kg <sup>-1</sup>	45	45	43	59	57	300
Hg	mg.kg <sup>-1</sup>	0,03	0,022	0,027	0,025	0,028	1,5
Cr	mg.kg <sup>-1</sup>	26	27	37	30	31	200

\*valores estabelecidos pelo DL 276/2009

**Quadro 8** – Teores de Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg e Cr totais no solo, no início do ensaio e após a colheita da cultura, observados na exploração de Monte Paraíso.

Parâmetros		Início	Após a colheita da cultura				Valores limite*
			T1	T2	T3	T4	
Cd	mg.kg <sup>-1</sup>	<0,17	<0,17	<0,17	<0,17	<0,17	3
Cu	mg.kg <sup>-1</sup>	16	20	21	23	21	100
Ni	mg.kg <sup>-1</sup>	15	19	18	20	21	75
Pb	mg.kg <sup>-1</sup>	15	15	13	19	15	300
Zn	mg.kg <sup>-1</sup>	28	37	35	64	42	300
Hg	mg.kg <sup>-1</sup>	0,02	0,026	0,026	0,030	0,023	1,5
Cr	mg.kg <sup>-1</sup>	21	24	23	28	26	200

\*valores estabelecidos pelo DL 276/2009

cialmente os teores de Zn mas também os de Cu, Ni, Pb e aumentar os de Hg e Cr. A aplicação de lamas associado à ripagem e à adubação tradicional fez crescer os teores Cu, Ni, Hg e Cr, e decrescer os de Pb não afetando o valor do Zn. A adubação recomendada com ripagem mais lama fez aumentar apenas os teores de Hg e provocou decréscimos no Cu, Ni, Pb, Zn e Cr.

Na exploração de Longos verificou-se também que não houve diferença entre tratamentos para o teor de Cd, nesta exploração observaram-se ligeiros acréscimos dos teores de Cu, Ni e Zn no tratamento ripagem com adubação tradicional (T1 e T2) não sendo afetados os teores de Pb e Cr. A aplicação de lamas com ripagem e adubação tradicional fez decrescer os teores de todos os elementos. O tratamento com ripagem e lama mas com adubação recomendada (T4) deu origem a um aumento do teor de Zn.

Na exploração de S. Marcos e como já se tinha observado nas explorações anteriores também não houve diferenças entre os tratamentos para os teores de Cd. Todos os tratamentos elevaram o teor Cu e Ni. A aplicação de lamas com ripagem e adubação tradicional

(T2 e T3) fizeram decrescer o teor de Pb, Hg e Cr e aumentar o teor dos outros elementos especialmente do Zn. Já a aplicação de lamas com ripagem mas com a adubação recomendada teve um efeito contrário sobre o Pb, Hg, Cr e Zn provocando aumentos nos três primeiros e um ligeiro decréscimo no Zn.

Na exploração de Monte Paraíso também não houve diferença entre os tratamentos para o teor de Cd. A aplicação de lamas com ripagem e adubação tradicional foi o único tratamento que fez aumentar a concentração de todos os elementos.

Submeteram-se os resultados obtidos nos quatro tratamentos nas quatro explorações (repetições) a uma análise de variância (ANOVA) e apresentaram-se, no Quadro 9 os valores médios e no Quadro 10 os valores calculados da distribuição de *F* de Snedecor (95% de significância), para os metais pesados (Cu, Ni, Pb, Zn, Hg e Cr) do solo após a colheita das culturas.

Pelos valores obtidos pode-se observar que não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) dos tratamentos sobre os teores destes metais. Entre as explorações registaram-se diferenças significativas nos teores de

**Quadro 9** – Teores médios de Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg e Cr totais no solo, no início do ensaio e após a colheita da cultura, observados no conjunto das quatro explorações.

Parâmetros		Início	Após a colheita da cultura				Valores limite*
			T1	T2	T3	T4	
Cd	mg.kg <sup>-1</sup>	<0,17					3
Cu	mg.kg <sup>-1</sup>	16	17,0	17,5	17,25	17,0	100
Ni	mg.kg <sup>-1</sup>	15	18,25	17,75	19,5	19,5	75
Pb	mg.kg <sup>-1</sup>	15	25,5	25,0	25,0	21,0	300
Zn	mg.kg <sup>-1</sup>	28	52,5	48,75	57,0	50,0	300
Hg	mg.kg <sup>-1</sup>	0,02	0,023	0,027	0,028	0,029	1,5
Cr	mg.kg <sup>-1</sup>	21	25,5	28,5	27,75	25,25	200

\*valores estabelecidos pelo DL 276/2009

**Quadro 10** – Tabela de valores de F calculados<sup>(a)</sup> para os metais *pesados*, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg e Cr do solo após a colheita das culturas.

Origem da variação	g.l	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Cr
Tratamento	3	2,02 ns	0,53 ns	0,73 ns	0,54 ns	1,24 ns	1,16 ns
Exploração	3	2,54 ns	0,75 ns	12,83 ***	4,19 *	0,65 ns	4,05 *

(a) – Valores calculados da distribuição de F de Snedecor; ns-  $p > 0,05$ ; \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* -  $p \leq 0,001$

Pb, Zn e Cr. Em Vale Gonçalves registaram-se valores significativamente ( $p \leq 0,05$ ) mais elevados de Zn e Pb, não diferindo de São Marcos relativamente ao Zn. São Marcos, em relação às outras explorações, revelou valores significativamente superiores de Cr.

#### Efeitos na cultura

Para a avaliação da composição química do cereal procedeu-se à colheita de material vegetal para análise, ao longo do ciclo das culturas instaladas (trigo e aveia). Cada amostra foi constituída por 30 a 40 plantas representativas de cada parcela. Na fase de afilhamento colheu-se toda a parte aérea, na fase de emborrachamento colheram-se as duas primeiras folhas a contar do topo da planta, e na fase final (à colheita) analisou-se separadamente o grão e a palha.

Nos Quadros 11 a 14 apresentam-se os teores de metais *pesados* observados no trigo nas três explorações: Vale Gonçalves (VG), São Marcos (SM) e

Longos (L); e na aveia no Monte Paraíso (MP), nas fases de afilhamento (Fase I) e de emborrachamento (Fase II).

Os resultados obtidos, ao afilhamento e ao emborrachamento, nos quatro tratamentos e nas três explorações com trigo foram sujeitos a uma análise de variância (ANOVA) apresentando-se nos Quadros 15 e 16 os valores calculados da distribuição de F de Snedecor (95% de significância) para os metais *pesados* (Cd, Cr, Ni, Pb Zn e Cu).

Pelos valores obtidos pode-se observar que não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) dos tratamentos sobre os teores de nenhum dos metais *pesados* em qualquer das duas fases de desenvolvimento. Entre explorações, o Ni doseado na planta no afilhamento e o Cu e o Cd no emborrachamento, apresentaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  no caso do Cd) com valores mais elevados em Longos (Ni), Vale Gonçalves (Cu) e São Marcos (Cd).

**Quadro 11** – Teores de metais *pesados* (mg kg<sup>-1</sup>) observados na cultura do trigo no Vale Gonçalves.

Parâmetros	T1		T2		T3		T4	
	Fase I	Fase II						
Zn	17	17	13	18	13	17	14	14
Cu	4	7	9	7	3	13	4	6
Cd	0,090	0,025	0,077	0,024	0,092	0,025	0,119	0,021
Cr	2,56	1,62	1,61	1,21	2,02	2,01	3,35	1,72
Ni	2,33	3,14	2,21	2,81	1,61	2,51	0,71	3,66
Pb	3,56	5,26	2,71	3,62	3,93	4,22	5,18	4,09

Fase I- ao afilhamento; Fase II – ao emborrachamento.

**Quadro 12** – Teores de metais *pesados* (mg kg<sup>-1</sup>) observados na cultura do trigo em Longos.

Parâmetros	T1		T2		T3		T4	
	Fase I	Fase II						
Zn	17	13	19	14	21	15	22	10
Cu	6	5	11	5	4	5	4	4
Cd	0,132	0,094	0,128	0,066	0,093	0,072	0,104	0,069
Cr	1,92	2,71	3,42	2,31	1,81	2,28	2,01	1,33
Ni	2,02	2,91	6,13	2,41	5,42	2,07	3,21	2,55
Pb	1,31	3,81	1,41	2,51	2,31	2,07	3,72	4,80

Fase I- ao afilhamento; Fase II – ao emborrachamento.

**Quadro 13** – Teores de metais *pesados* (mg kg<sup>-1</sup>) observados na cultura do trigo em S. Marcos.

Parâmetros	T1		T2		T3		T4	
	Fase I	Fase II						
Zn	15	23	18	15	21	16	17	16
Cu	2	11	3	12	3	10	2	10
Cd	0,092	0,103	0,089	0,140	0,110	0,084	0,105	0,085
Cr	2,01	2,52	2,33	2,42	2,60	2,83	3,01	1,91
Ni	2,21	0,91	4,45	3,43	4,30	2,33	2,61	2,61
Pb	2,32	3,93	3,54	2,32	1,60	3,23	1,41	3,51

Fase I- ao afilhamento; Fase II – ao emborrachamento.

**Quadro 14** – Teores de metais *pesados* (mg kg<sup>-1</sup>) observados na cultura da aveia no Monte Paraíso.

Parâmetros	T1		T2		T3		T4	
	Fase I	Fase II						
Zn	13	13	10	16	22	20	13	12
Cu	3	3	2	4	3	5	2	4
Cd	0,117	0,076	0,089	0,068	0,114	0,063	0,105	0,072
Cr	1,65	1,51	1,51	0,93	2,31	0,71	1,42	0,72
Ni	2,47	1,81	1,71	1,97	1,51	2,94	8,72	2,46
Pb	1,34	1,71	2,41	3,62	6,33	1,82	3,86	3,28

Fase I- ao afilhamento; Fase II – ao emborrachamento.

**Quadro 15** – Tabela de valores de F calculados<sup>(a)</sup> para os teores de metais *pesados* na cultura do trigo ao afilhamento.

Origem da variação	g.l.	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn	Cu
Tratamento	3	0,26 ns	0,53 ns	3,47 ns	0,51 ns	0,44 ns	3,96 ns
Exploração	2	1,26 ns	0,07 ns	6,35 *	2,79 ns	4,96 ns	4,99 ns

(a) – Valores calculados da distribuição de F de Snedecor; ns- p&gt;0,05; \* - p≤0,05.

**Quadro 16** – Tabela de valores de F calculados<sup>(a)</sup> para os teores de metais *pesados* na cultura do trigo ao emborrachamento.

Origem da variação	g.l.	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn	Cu
Tratamento	3	0,89 ns	2,29 ns	0,66 ns	3,70 ns	1,62 ns	0,94 ns
Exploração	2	21,97**	4,51 ns	1,00 ns	3,21 ns	3,79 ns	9,34 *

(a) – Valores calculados da distribuição de F de Snedecor; ns- p&gt;0,05; \* - p≤0,05.

Analisando os Quadros 11 a 14 pode-se constatar que os teores de Zn, Cu, Cd, Cr, Ni e Pb encontrados no trigo nas três explorações: Vale Gonçalinho, São Marcos e Longos; e na aveia no Monte Paraíso, nas fases de afilhamento (Fase I) e de emborrachamento (Fase II) são, em todos os casos muito inferiores às concentrações acima das quais são consideradas tóxicas para a maioria das plantas (Kabata-Pendias, 2001).

As concentrações de Cu e de Zn, analisados como nutrientes, apresentam-se dentro dos limites estabelecidos como normais em relação às duas culturas (Jones *et al.*, 1991; LQARS, 2006), mostrando a inexistente biodisponibilidade dos metais aplicados como foi observado por Shober *et al.* (2007) em relação a diferentes culturas, à aplicação de maiores quantidades de lamas ao solo.

O grão produzido é normalmente utilizado para alimentação animal, quer diretamente para o gado dos próprios agricultores, ou é vendido para rações. Raramente o cereal produzido nesta região tem qualidade suficiente para a indústria alimentar (humana), pelo que se analisou o material colhido na perspectiva de alimentação animal.

Embora para os animais os valores de tolerância aos vários minerais variem com a idade, a condição fi-

siológica do animal e a relação com outros elementos, o NRC (2005) citada por Weiss (2008), propõe, não um intervalo de valores, mas sim um único valor crítico para cada espécie animal (Bovina, Ovina, Equina, Suína, Aves e Coelho). Weiss (2008) cita valores máximos de concentração em mg kg<sup>-1</sup> de Cu (40), Zn (500), Cd (10), Cr (100), Ni (100) e Hg (2), tolerados pelo gado vacum.

Assim, e reportando-nos, para cada mineral, ao valor atribuído à espécie mais sensível, pode verificar-se que os teores encontrados nas duas culturas, tanto no grão como na palha, são muito inferiores aos considerados tóxicos (Quadros 17 a 20).

Realizou-se a análise de variância dos teores obtidos no grão e na palha nos quatro tratamentos e nas três explorações onde se semeou trigo, apresentando-se os valores de F calculados nos Quadros 21 e 22.

Analisando esses quadros, verificamos que não houve, quer para o grão, quer para a palha, diferenças significativas em resposta aos tratamentos, nas concentrações médias dos vários metais *pesados*. Observaram-se, contudo, diferenças significativas entre explorações nas concentrações de todos os metais no grão, à exceção do Cd. Na palha observaram-se diferenças significativas em relação ao Zn, Cu e Hg.

**Quadro 17** – Teores de metais *pesados* (mg kg<sup>-1</sup>) observados na cultura do trigo (grão e palha) no Vale Gonçalinho.

Parâmetros	T1		T2		T3		T4	
	Grão	Palha	Grão	Palha	Grão	Palha	Grão	Palha
Zn	50	11	50	11	41	10	42	10
Cu	6	4	5	3	5	4	5	3
Cd	0,02	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04	0,01	0,03
Cr	7,99	3,33	11,25	3,06	4,90	2,30	5,06	2,39
Ni	5,52	5,70	4,48	3,16	3,10	2,60	1,76	3,03
Pb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Hg	6,41	14,97	5,87	15,11	2,60	12,02	1,75	10,57

n.d. – não detectado

**Quadro 18** – Teores de metais *pesados* (mg kg<sup>-1</sup>) observados na cultura do trigo (grão e palha) em Longos.

Parâmetros	T1		T2		T3		T4	
	Grão	Palha	Grão	Palha	Grão	Palha	Grão	Palha
Zn	23	5	31	9	28	7	24	4
Cu	4	2	4	2	4	2	3	2
Cd	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03
Cr	3,20	3,10	3,66	4,15	1,86	2,15	1,39	2,23
Ni	0,89	2,47	0,99	3,62	0,90	2,63	1,04	2,50
Pb	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Hg	0,87	12,28	1,01	20,50	0,50	11,36	0,60	14,51

n.d. – não detectado

**Quadro 19** – Teores de metais *pesados* (mg kg<sup>-1</sup>) observados na cultura do trigo (grão e palha) em S. Marcos.

Parâmetros	T1		T2		T3		T4	
	Grão	Palha	Grão	Palha	Grão	Palha	Grão	Palha
Zn	28	4	26	4	34	7	27	4
Cu	4	2	5	2	5	2	4	2
Cd	0,02	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03
Cr	3,56	2,10	2,10	2,80	1,79	2,45	2,79	3,37
Ni	1,04	1,71	1,29	1,72	1,04	2,48	0,65	2,75
Pb	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Hg	2,59	20,08	1,68	19,77	2,01	17,38	1,51	16,64

n.d. – não detectado

**Quadro 20** – Teores de metais *pesados* (mg kg<sup>-1</sup>) observados na cultura da aveia (grão e palha) no Monte Paraíso.

Parâmetros	T1		T2		T3		T4	
	Grão	Palha	Grão	Palha	Grão	Palha	Grão	Palha
Zn	19	7	22	10	25	13	20	5
Cu	3	2	3	6	3	3	3	3
Cd	0,01	0,04	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,03
Cr	16,91	1,71	20,72	*	19,89	2,60	18,64	1,30
Ni	3,50	2,21	6,66	*	6,80	3,30	6,90	3,30
Pb	n.d.							
Hg	1,38	*	2,19	18,24	2,21	13,00	2,48	10,35

n.d. – não detectado; \*- suspeita de contaminação da amostra.

**Quadro 21** – Tabela de valores de F calculados<sup>(a)</sup> para os teores médios de metais pesados no grão, na cultura do trigo, para o conjunto das três explorações.

Origem da variação	g.l.	Cd	Cr	Ni	Zn	Cu	Hg
Tratamento	3	1,26 ns	2,29 ns	1,28 ns	0,59 ns	1,33 ns	1,76 ns
Exploração	3	2,36 ns	12,1 **	11,87 **	22,6 **	9,0 *	7,93 *

(a) – valores calculados da distribuição de F de Snedecor; ns- p&gt;0,05; \* - p≤0,05; \*\* - p≤0,01; \*\*\* - p≤0,001.

**Quadro 22** – Tabela de valores de F calculados<sup>(a)</sup> para os teores médios de metais pesados na palha, na cultura do trigo, para o conjunto das três explorações

Origem da variação	g.l.	Cd	Cr	Ni	Zn	Cu	Hg
Tratamento	3	ns	1,30 ns	0,24 ns	1,33 ns	1,0 ns	3,05 ns
Exploração	3	3,0 ns	0,12 ns	1,88 ns	15,8 **	27,0 ***	6,07 *

(a) – valores calculados da distribuição de F de Snedecor; ns- p&gt;0,05; \* - p≤0,05; \*\* - p≤0,01; \*\*\* - p≤0,001.

## Conclusões

Os resultados obtidos e a análise crítica desenvolvida permitiram estabelecer algumas conclusões necessariamente indissociáveis das condições reais que as fundamentaram (estruturais, ambientais e metodológicas) e, como tal, de generalização limitada.

Saliente-se que, a elevada dimensão dos talhões utilizados no estudo e o facto de o estudo ter sido desenvolvido em explorações de diferentes produtores não permitiu o controlo rigoroso das diversas operações culturais (sementeira, adubação, aplicação de lamas, colheita de material) como seria desejável num estudo desta índole, dificultando ou mesmo impossibilitando a realização de determinadas comparações entre modalidades.

Os resultados revelam que os valores de Cd, Cu, Ni, Pb, Zn e Hg no solo nas modalidades em que se aplicaram lamas foram em todas as explorações inferiores ao limite de concentração desses metais no solo referidos na legislação vigente (DL 276/2009). Entre explorações encontraram-se diferenças significativas no que diz respeito aos teores de Pb, Zn e Cr.

Do mesmo modo não se observou efeito significativo ( $p > 0,05$ ) dos tratamentos em estudo sobre os teores dos metais *pesados* nas plantas na fase de afilhamento, na fase do emborrachamento e nos produtos finais (grão e palha). Durante todo o ciclo das culturas, a análise dos tecidos vegetais revelou, em todas as explorações e em todos os tratamentos, teores de Zn, Cu, Cd, Cr, Ni e Pb muito abaixo dos que são considerados tóxicos para a maioria das plantas.

## Referências bibliográficas

- AGRO 140 (2005) - Avaliação da sustentabilidade de alguns sistemas de culturas no Baixo Alentejo. *Relatório Final do projeto AGRO 140*. INIA. Estação Agronómica Nacional. Oeiras. 46 p.
- Brady, N.C. e Weil, R.R. (2002) - *The Nature and Properties of the Soils*. New Jersey, Pearson Education, Inc., 13<sup>th</sup> ed. N.Y. 960 p.
- Duffus, John H. (2002) - "Heavy metals" – A meaningless term? *Pure Appl. Chem.*, vol. 74, N. 5, p. 793-807.
- MAOTDR (2009) - "Decreto-lei 276/2009". Diário da Republica, 1<sup>a</sup> serie- N<sup>o</sup> 192 de 2 de Outubro.
- FAO (2006) - *World reference base for soil resources*. Rome. 128 p.
- Jones, J.B., Jr, Wolf, B. e Mills, H.A. (1991) - *Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide*; G.: Micro-Macro Publishing: Athens, GA. 213 p.
- Kabata-Pendias, A. (2001) - *Trace elements in soils and plants*, 3<sup>rd</sup> ed., CRC Press LLC, Boca-Raton, Florida, EUA, 413 p.
- Lal, R. (1998) - Soil processes and greenhouse effect. In: Lal et al. (Ed.) - *Methods for assessment of soil degradation. Advances in Soil Science*. Boca Raton. N.Y., p.119-212.
- LQARS (1977) - *Sector Fertilidade do Solo*, DGSA/Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, Lisboa, Divulgação, 39 p.
- LQARS (2006) - *Manual de Fertilização das culturas*. INIAV, ex-Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva. Lisboa. 282 p.
- National Research Council (2005) - *Mineral Tolerance of Animals*. Vol. 2<sup>nd</sup> rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Pais, I. e Jones, J. Benton, Jr. (1997) - *The Handbook of Trace Elements*. St. Lucie Press, Boca Raton, Florida. USA, 223 p.
- Rural Value (2011) - Relatório Técnico da atividade 1- Mitigação da seca e desertificação. *Projeto Rural Value: Desenvolvimento sustentável de sistemas agrícolas extensivos ameaçados*. EEA Grants PT 0041. 2011. Disponível em <<https://docs.google.com/uc?id=0B63r07o21EBBZjc3MGRhYjUtZmM yOC00ODAwLTkzN2QtZTk2MmQ3OTQ0MTdi &export=download>>
- Shober, A.L., Stehouwer, R.C. e MacNeal, K.E. (2007) - Chemical Fractionation of Trace Elements in Biosolid-Amended Soils and Correlation with Trace Elements in Crop Tissue. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38: p. 1029–1046.
- Singh, B.R. (1998) - Soil pollution and contamination. In: Lal et al. (Ed.) - *Methods for assessment of soil degradation. Advances in Soil Science*. Boca Raton. N.Y., p. 279-296.
- Weiss, W.P. (2008) - Mineral Tolerances of Animals. In: *Tri-State Dairy Nutrition Conference*. Department of Animal Sciences. Ohio Agricultural Research and Development Center. The Ohio State University, p. 59-64.