

# Caracterização de lamas de depuração utilizadas na valorização agrícola em Portugal

## *Characterization of sewage sludge used at agricultural valorization in Portugal*

Filipe Pedra<sup>1</sup>; Maria Inês Castel-Branco<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INIAV, I.P./UEIS-SAFSV - Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva

<sup>2</sup> DGADR - Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural/Divisão de Gestão dos Recursos Naturais

**RESUMO:** As lamas de depuração são utilizadas, há várias décadas, em Portugal na valorização agrícola pois podem promover o aumento da matéria orgânica e a alteração do pH do solo ou funcionar como adubo orgânico através do incremento de nutrientes indispensáveis para o desenvolvimento das culturas. No entanto, é necessário uma gestão correta destas e, para tal, pressupõe-se que garantam um conjunto de requisitos de qualidade que permita cumprir, de modo rigoroso a legislação em vigor sem colocar em risco o sistema solo-planta-água.

A composição físico-química das lamas de depuração e a respetiva qualidade não varia apenas com a composição das águas de que provêm, mas também com a tecnologia de tratamento a que foram sujeitas. Assim, torna-se essencial uma correta caracterização química das lamas, que permita indicar se podem ser utilizadas na valorização agrícola, de acordo com a legislação em vigor, e caso não cumpram com os respetivos critérios legislativos, avaliar outras alternativas de gestão.

Neste trabalho, pretende-se fazer a caracterização físico-química das lamas de depuração que constam no Plano de Gestão de Lamas (PGL) aprovadas pelas Direções Regionais de Agricultura e Pescas (DRAP) de Portugal Continental, previsto no Decreto-Lei n.º 276, 2009 de 2 de outubro, durante o período de 2010 a 2015.

Palavras-chave: lamas de depuração; valorização agrícola; qualidade

**ABSTRACT:** Sewage sludge has been used for several decades in Portugal in agricultural valorization since it may promote the increase of soil organic matter and pH or because it can function as an organic fertilizer through the increase of nutrients, indispensable for the development of the crops. However it's necessary to apply a rightful management of these materials to guarantee the quality requirements that allows them to comply with the current legislation and to protect the soil-water-plant system from risks.

Sewage sludge physical-chemical composition and its quality don't only differ with the composition of the waste waters but also with the respective technology treatment. So it's necessary to make a correct physical-chemical characterization to optimize their valorization, indicating if they can be used in the agricultural valorization or, if it does not comply with the respective legislation, to assess an alternative management solution.

The aim of this paper is to perform sewage sludge physico-chemical characterization, used in agricultural valorization provided by Portuguese Law, that were approved by the Regional Direction of Agriculture and Fisheries of Portugal within the scope of the Sludge Management Plan during the period from 2010 to 2015.

Keywords: sewage sludge; agricultural valorization; quality

## 1. INTRODUÇÃO

As lamas de depuração são utilizadas, há várias décadas, em Portugal na valorização agrícola. A necessidade de se adicionar lamas em solos agrícolas deveu-se, principalmente, à preocupação da gestão do volume crescente dos resíduos urbanos, incluindo as lamas de depuração, e à necessidade de encontrar uma forma de eliminação mais amigável do ambiente e menos dispendiosa (Domingues, 1990; Sequeira *et al.*, 1994; Domingues 1997).

Na realidade, quando corretamente geridas, as lamas de depuração podem representar um importante recurso renovável, uma vez que podem funcionar como corretivos orgânicos, promovendo o aumento da matéria orgânica e a alteração do pH do solo, ou funcionar como um adubo orgânico, pelo fornecimento de nutrientes indispensáveis ao desenvolvimento das culturas (Carteiro, 2002; Antas *et al.*, 2002; Pinto, 2002; Sequeira, 2002; Dias, 2004). No entanto, o uso das lamas em solos agrícolas deverá ser feita unicamente quando se evita a contaminação por metais pesados, compostos orgânicos e agentes patogénicos e que se assegure a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, uma vez que quando as lamas estão pouco estabilizadas e são aplicadas ao solo poderão provocar a sua contaminação por lixiviação de nitratos, compostos orgânicos hidrossolúveis e metais pesados (Pedra, 2007). Para tal, pressupõe-se que estas garantam um conjunto de requisitos de qualidade que lhes permitam cumprir, de um modo rigoroso, a legislação em vigor e não ponham em risco a saúde de seres humanos e animais (Silveira, 2002; Neves, 2002).

Em Portugal, a produção de lamas de depuração e de composição similar tem aumentado ao longo dos tempos e em 2013 foram publicados os primeiros dados oficiais, no qual os produtores indicaram que em 2013 a produção total de lamas foi de cerca 643 000 t, sendo que 61% foram provenientes de estações de tratamento de águas residuais (ETAR) urbanas e 30% do tratamento de efluentes da produção e transformação da pasta para papel e de papel e cartão (APA, 2013). Para além disso, entre 2010 e 2013, a valorização, como destino final das lamas de depuração, aumentou de 90% para 95%, e consequentemente a eliminação passou de 10% para 5% (APA, 2013). Apesar dos elevados valores de valorização de lamas para aplicação aos solos agrícolas, verificou-se que a aplicação direta, nesse mesmo período, diminuiu de 56% para 28% e a armazenagem aumentou de 24% para 47%, sugerindo possíveis problemas de escoamento. Por outro lado, a utilização de lamas de depuração para

a produção de compostados manteve-se constante durante esse período (cerca de 20%).

A caracterização físico-química das lamas de depuração produzidas a nível Nacional poderá fornecer informações sobre o seu potencial de fertilização, compará-las com outras matérias fertilizantes e avaliar a necessidade de estabelecer tratamentos alternativos e/ou complementares, através da adição ou alteração de tecnologias de tratamento. A caracterização físico-química das lamas de depuração tem tido uma atenção especial da comunidade científica em Portugal, tendo sido publicados diversos trabalhos sobre este tema. Em Portugal, os estudos relacionados com as lamas de depuração foram iniciados em 1986 por Carrasco de Brito e, em 1987, o Departamento de Pedologia da Estação Agronómica Nacional (atual INIAV, I.P.) começou a estudar a caracterização de lamas de depuração a partir do Projecto 156/87 "Caracterização de algumas lamas residuais, contributo para a sua normalização como fertilizante" (Domingues; 1990). A partir dessa altura, as publicações mais relevantes sobre a caracterização de lamas de depuração foram realizadas por Sequeira e Domingues (1993), Quelhas dos Santos (1995), Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas (1997), Domingues (1999), Varennes (2003) e Gonçalves (2005). Essas caracterizações têm, no entanto, limitações, uma vez que foram obtidas na execução de projetos de investigação a partir de um universo limitado de amostras, número limitado de ETAR e, por vezes, de parâmetros, ou a partir de resultados de amostras analisadas pelo Laboratório Químico Agrícola da Silva, desconhecendo-se se o processo de tratamento estava finalizado e qual o verdadeiro destino final destas lamas. Desta forma, as mesmas podem não refletir a realidade do País. Apesar de não se poder considerar uma composição padrão para todas as lamas de depuração, com o presente trabalho pretende-se dar a conhecer um conjunto de dados obtidos a partir da caracterização físico-química das lamas de depuração que foram aprovadas pelas Direções Regionais de Agricultura e Pescas (DRAP) de Portugal Continental no âmbito do Plano de Gestão de Lamas (PGL) previsto no Decreto-Lei n.º 276, 2009 de 2 de outubro, durante o período de 2010 a 2015.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados da caracterização físico-química das lamas de depuração utilizados neste trabalho foram obtidos a partir de dados codificados da Direção-Geral da Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR), sendo estes dados inicialmente provenientes das diferentes DRAP de Portugal

Continental, no âmbito dos PGL aprovados durante o período de 2010 a 2015.

Os parâmetros avaliados foram os indicados pelo Decreto-Lei n.º 276/2009 de 2 de outubro, nomeadamente: parâmetros agronómicos, metais pesados e compostos orgânicos, tendo estes sido determinados pelos métodos de ensaio recomendados pela referida legislação.

Em todos os dados foi omitida a identificação do requerente/empresa garantindo assim a sua confidencialidade e a avaliação dos dados existentes compreendeu as seguintes etapas:

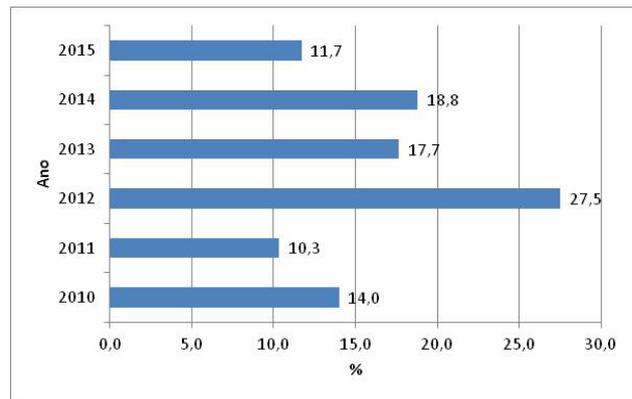
- Diferenciação das lamas de depuração de acordo com os códigos da Lista Europeia de Resíduos (LER), origem dos dados e respetivos anos;
- Cálculo dos valores médios referentes aos parâmetros agronómicos, metais pesados e compostos orgânicos, dos diferentes tipos de lamas de depuração, de acordo com o código LER.

A análise estatística dos dados foi efetuada através do programa Statgraphics Centurion XVII. Os resultados da composição físico-química dos diferentes tipos de lamas de depuração foram sujeitos à análise de variância (ANOVA, ONE-WAY). A separação de médias foi efetuada com recurso ao teste de Tuckey HSD ( $p=0,05$ ). A análise estatística incidu sobre as amostras de lamas de depuração que, de acordo com o código LER, tivessem no total mais de 19 pedidos de licenciamento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Distribuição dos relatórios de análise laboratorial de lamas de depuração recebidos pelas DRAP

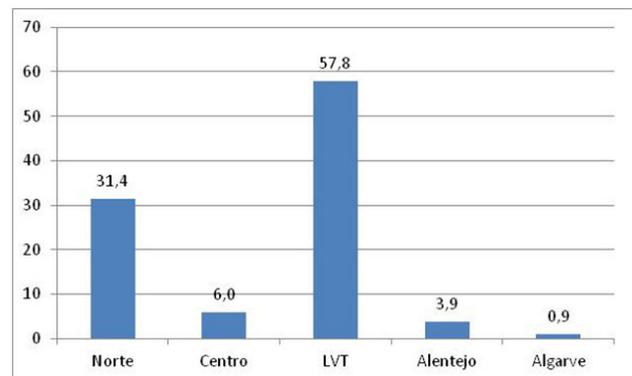
Os dados mostraram que entre 2010 e 2015 foram solicitados, às diferentes DRAP de Portugal Continental, a aprovação de 436 relatórios de análise laboratorial de lamas de depuração com o objetivo das referidas amostras serem aprovadas para valorização agrícola. Apesar de não ter existido uma tendência nítida da sua evolução ao longo dos anos em estudo, constatou-se que o ano 2012 foi o que teve maior número de relatórios (117) e o ano de 2011 foi o que apresentou menor número (45). Nos restantes anos os relatórios de análise laboratorial recebidos pelas DRAP variaram entre 51 e 82 (Figura 1).



**Figura 1.** Distribuição, em %, dos relatórios de análise laboratorial recebidos nas DRAP.

#### 3.2 Distribuição dos relatórios de análise laboratorial por DRAP e código LER

Os resultados revelados na Figura 2 mostram que a DRAP Lisboa e Vale do Tejo, entre 2010 e 2015, foi aquela que recebeu maior quantidade de relatórios de análise laboratorial (57,8%), seguida pela DRAP Norte (31,4%).



**Figura 2.** Distribuição, em %, dos relatórios de análise laboratorial recebidos por DRAP.

A Figura 3 mostra que cerca de 88% dos relatórios recebidos nas DRAP foram de lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas (19 08 05; 78%) e da produção e transformação da pasta de papel (03 03 11; 10%).

Por outro lado, as lamas provenientes do tratamento local de efluentes referentes a resíduos da preparação e processamento de frutos, produtos hortícolas, etc. (02 03 05; 6%) e resíduos da produção de bebidas alcoólicas e não alcoólicas (excluindo café, chá e cacau) (02 07 05; 4%) representam apenas cerca de 10% dos relatórios de análise laboratorial. Por fim, as lamas do tratamento local de efluentes provenientes de resíduos da indústria de laticínios

(02 05 02) e as lamas de tratamento de águas residuais (outros resíduos não especificados) (19 08 99) representaram menos de 1% dos relatórios recebidos e deste modo estas amostras não foram contabilizadas para a caracterização físico-química das lamas de depuração.

### 3.3 Composição físico-química dos diferentes tipos de lamas de depuração

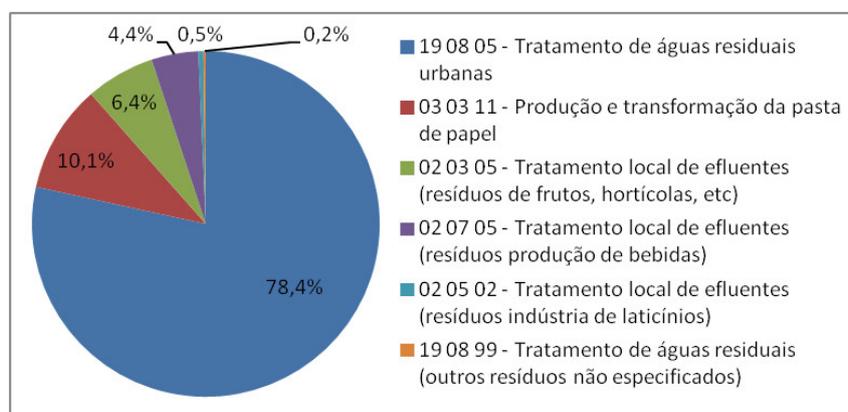
A análise estatística revelou que não houve diferenças significativas ( $p=0,05$ ), nos diferentes tipos de lamas de depuração, para os teores de humidade, azoto nítrico e amoniacal, fósforo total, magnésio total, cádmio total, LAS e PCDD/PCDF.

Os resultados mostram que os teores de humidade variaram entre 76,0% e 70,7%, indicando que as lamas de depuração quando são aplicadas ao solo contêm quantidades consideráveis de água o que poderá dificultar o seu transporte e aplicação, bem como diluir a matéria orgânica e os nutrientes veiculados (Gonçalves, 2005). Os valores, por outro lado, estão de acordo com os referidos por Varennes (2003) e Gonçalves (2005) que situam a humidade das lamas de depuração entre 65-75% e 64-88%, respetivamente.

O valor de pH foi significativamente superior nas lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas, sendo o valor de 11,4 muito superior ao referenciado por Quelhas dos Santos (1995), Domingues (1999) e Gonçalves (2005) nas diferentes caracterizações que anteriormente efetuaram às lamas de ETAR. Se por um lado, esta característica pode indicar um efeito potencial como corretivo alcalinizante do solo, por outro pode originar também a alcalinização do solo, ou seja o incremento do valor de pH para a zona

alcalina com efeitos negativos a nível da absorção de alguns nutrientes, nomeadamente de fósforo. Estes problemas poderão ocorrer principalmente em solos com capacidade de troca catiónica baixa e baixo poder tampão. De modo a evitar este problema, na recente legislação das matérias fertilizantes (Decreto-Lei n.º 103/2015) o valor máximo de pH nos corretivos orgânicos deverá ser de 9 valores. Este alto valor de pH encontrado nas lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas poderá sugerir que estas foram maioritariamente estabilizadas pela via química, através de calagem. A estabilização das lamas é um processo imprescindível uma vez que a reduzida estabilização das lamas poderá afetar não só a produção da cultura que se segue à sua aplicação ao solo, devido à libertação de fitotoxinas provenientes da decomposição da matéria orgânica no solo e do inerente consumo de oxigénio, como também uma eventual transmissão de microorganismos patogénicos e emissão de maus cheiros (Pedra, 2007; Florindo, 2009; Victor, 2010). No entanto, a estabilização pela via química é um processo pouco recomendado, por causa dos custos inerentes, das quantidades elevadas dos produtos químicos utilizados (Florindo, 2009) e por não promover uma estabilização efetiva da matéria orgânica existente, resultando unicamente na inativação temporária dos microorganismos existentes e na higienização das lamas (Gonçalves, 2005). Deste modo sugere-se que para as lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas se utilize outros processos de estabilização tais como digestão aeróbia ou anaeróbia, incluindo compostagem com outros materiais.

Os teores de matéria orgânica foram elevados em todos os tipos de lama estudadas, estando de acordo com os anteriormente publicados no Código



**Figura 3.** Distribuição, em %, dos relatórios de análise laboratorial recebidos nas DRAP por códigos LER.

**Quadro 1.** Valores médios dos parâmetros agronómicos, metais pesados e compostos orgânicos das lamas de depuração, entre 2010 e 2015, com os códigos 02 03 05, 02 07 05, 03 03 11, 19 08 05 de acordo com a “Lista Europeia de Resíduos”.

Parâmetros	Código LER							
	02 03 05 <sup>a)</sup>	N <sup>e)</sup>	02 07 05 <sup>b)</sup>	N <sup>e)</sup>	03 03 11 <sup>c)</sup>	N <sup>e)</sup>	19 08 05 <sup>d)</sup>	N <sup>e)</sup>
Humidade (%)	72,4 a	28	76,0 a	19	72,1 a	44	70,7 a	342
pH(H <sub>2</sub> O)	7,03 b	22	7,46 b	5	7,54 b	31	11,4 a	169
Matéria orgânica (%)	60,5 a	28	46,1 ab	16	46,6 b	44	51,9 ab	268
Azoto total (N) (%)	3,29 ab	28	3,27 ab	19	2,17 b	44	3,97 a	342
Azoto nítrico (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (%)	0,0142 a	22	0,00573 a	9	0,0205 a	30	0,0297 a	265
Azoto amoniacal (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (%)	0,498 a	22	0,295 a	9	0,102 a	31	0,316 a	266
Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (%)	1,04 a	28	1,29 a	19	0,853 a	44	1,51 a	342
Potássio total (K <sub>2</sub> O) (%)	0,473 a	28	0,146 b	17	0,197 b	44	0,302 b	324
Cálcio total (CaO) (%)	1,56 b	27	1,54 b	8	12,9 a	36	13,0 a	211
Magnésio total (MgO) (%)	0,308 a	27	0,187 a	10	0,508 a	36	0,381 a	209
Cobre total (Cu) (mg kg <sup>-1</sup> )	60,0 b	28	78,9 b	19	86,2 b	44	200 a	342
Zinco total (Zn) (mg kg <sup>-1</sup> )	307 b	28	404 ab	19	81,5 c	44	612 a	342
Níquel total (Ni) (mg kg <sup>-1</sup> )	27,8 ab	28	29,4 ab	19	17,2 b	44	37,4 a	342
Crómio total (Cr) (mg kg <sup>-1</sup> )	42,5 ab	28	77,7 ab	19	26,3 b	44	88,8 a	342
Cádmio total (Cd) (mg kg <sup>-1</sup> )	4,48 a	28	1,60 a	19	1,98 a	44	3,48 a	342
Chumbo total (Pb) (mg kg <sup>-1</sup> )	34,0 ab	28	12,6 ab	19	20,6 b	44	70,4 a	342
Mercúrio total (Hg) (mg kg <sup>-1</sup> )	1,87 a	28	0,114 b	19	0,799 b	44	0,842 b	342
Alquilo benzenossulfonatos lineares (LAS) (mg kg <sup>-1</sup> )	447 a	18	1098 a	5	664 a	20	692 a	186
Nonilfenóis e nonilfenóis etoxilados (NPE) (mg kg <sup>-1</sup> )	25,5 ab	18	8,06 bc	5	28,3 a	20	9,96 c	186
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) (mg kg <sup>-1</sup> )	0,312 b	18	0,371 ab	5	1,45 a	20	0,938 ab	185
Compostos bifenilos policlorados (PCB) (mg kg <sup>-1</sup> )	0,0368 b	18	0,0160 ab	5	0,134 a	20	0,0419 b	186
Policlorodibenzodioxinas /Furanos PCDD/PCDF (ng TEQ kg <sup>-1</sup> )	2,71 a	18	1,26 a	5	15,8 a	19	15,0 a	185

Os resultados seguidos com letras iguais não diferem significativamente entre si (P≤0,05).

<sup>a)</sup> Lamas provenientes do tratamento local de efluentes referentes a resíduos da preparação e processamento de frutos, produtos hortícolas, etc; <sup>b)</sup> Lamas provenientes do tratamento local de efluentes referentes a resíduos da produção de bebidas alcoólicas e não alcoólicas; <sup>c)</sup> Lamas provenientes da produção e transformação da pasta de papel; <sup>d)</sup> Lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas; <sup>e)</sup> Número de amostras determinadas.

de Boas Práticas Agrícolas (1997), Domingues (1999), Varennes (2003) e Gonçalves (2005). Estes teores foram significativamente superiores nas lamas provenientes do tratamento local de efluentes referentes a resíduos da preparação e processamento de frutos, produtos hortícolas, etc. em comparação com as lamas da produção e transformação da pasta de papel.

No entanto, se a matéria orgânica não estiver devidamente estabilizada, poderá não ser suficiente para corrigir devidamente a matéria orgânica do solo

uma vez que, após aplicação ao solo, irão prevalecer os mecanismos de mineralização do carbono originando elevadas perdas deste elemento para a atmosfera sob a forma de CO<sub>2</sub> (Quelhas dos Santos, 1995; Varennes, 2003; Pedra, 2007; Pedra *et al.*, 2007). Para além disso, poderá promover mecanismos que afetam a disponibilidade do azoto para as culturas, promover condições de anaerobiose no solo e consequentemente promover efeitos fitotóxicos para as culturas (Quelhas dos Santos, 1995; Varennes, 2003; Pedra, 2007; Pedra *et al.*, 2007).

Os teores de azoto total também foram consideráveis em todos os tipos de lamas de depuração apesar das lamas da produção e transformação da pasta de papel terem tido teores de azoto total significativamente mais baixo das lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas. Estes teores em azoto total encontrados nos diferentes tipos de lamas também estão de acordo com os anteriormente publicados no Código de Boas Práticas Agrícolas (1997), Domingues (1999), Varennes (2003) e Gonçalves (2005).

Os resultados de matéria orgânica e azoto total apresentados indicam que as lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas e lamas provenientes do tratamento local de efluentes referentes a resíduos da preparação e processamento de frutos, produtos hortícolas, etc., poderiam ser equiparadas a adubos orgânicos azotados se estas fossem avaliadas pelo Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de junho, diploma que estabelece as regras a que deve obedecer a colocação no mercado de matérias fertilizantes. Apesar de todos os tipos de lamas estudadas terem apresentado teores consideráveis de matéria orgânica e azoto total a sua eficácia como fertilizante irá depender fundamentalmente das quantidades aplicadas, tipo de carbono e azoto presente, da razão C/N, das necessidades azotadas das culturas, das condições ambientais, bem como do tipo e da preparação do solo (Pedra, 2007). Carrasco de Brito (1986) e Domingues (1999) referem que as lamas de depuração, suficientemente estabilizadas, se caracterizam por uma razão C/N < 10, podendo ser utilizadas na agricultura como verdadeiros corretivos orgânicos enquanto que a utilização de lamas de depuração insuficientemente, ou não estabilizadas, com C/N > 15, necessita de precauções, pois pode provocar uma imobilização temporária do azoto do solo. No entanto, há que ter a noção que para se ter uma apreciação mais correta do comportamento da matéria orgânica e azoto nas lamas de depuração, após aplicação ao solo, será necessário efetuar outros tipo de ensaios químicos e/ou biológicos uma vez que efetuar a sua apreciação unicamente pela razão C/N tem-se revelado insuficiente (Pedra, 2007 e Pedra *et al.*, 2007).

As lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas e da produção e transformação da pasta de papel revelaram teores em cálcio total muito superiores aos anteriormente publicados, chegando a ser duas vezes superior aos encontrados pelo Código de Boas Práticas Agrícolas (1997) e Domingues (1999) e foram significativamente superiores às lamas provenientes de resíduos da

preparação e processamento de frutos, produtos hortícolas, etc. e das lamas provenientes de resíduos da produção de bebidas alcoólicas e não alcoólicas (excluindo café, chá e cacau).

O elevado teor de cálcio total nas lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas pode ser devido à estabilização destas através do processo de calagem, já para as da transformação da pasta de papel, o teor de cálcio evidenciado parece ser devido às características das suas matérias-primas ou reagentes usados no processo de fabrico. Por exemplo, Oliveira (2009) refere que as lamas da indústria da pasta e papel obtidas no tratamento primário refletem sobretudo as características da madeira e dos reagentes usados no processo de fabrico, caracterizando-se por teores muito elevados de matéria orgânica e de cálcio, e baixos teores em azoto, fósforo e magnésio. Se, por um lado, estas elevadas concentrações de cálcio podem corrigir os solos com pH mais ácido, por outro, em solos menos ácidos ou mesmo neutros poderá promover a imobilização de macro e micronutrientes indispensáveis às culturas (Pedra, 2007). Domingues (1999) também refere que a adição de  $\text{CaCO}_3$  ou de  $\text{Ca(OH)}_2$  pode induzir o bloqueamento do fósforo que existe nas lamas de depuração enquanto Quelhas dos Santos (1995) indica que as lamas de depuração estabilizadas com  $\text{Ca(OH)}_2$  e com elevado valor de pH fazem com que muito do  $\text{NH}_4^+$  se converta em  $\text{NH}_3$ , o qual se libertará para a atmosfera.

Os teores em potássio mostraram-se baixos em todos os tipos de lamas de depuração, sendo que as lamas provenientes do tratamento local de efluentes referentes a resíduos da preparação e processamento de frutos, produtos hortícolas, etc. evidenciaram teores de potássio total significativamente superiores aos restantes tipos de lamas de depuração estudadas.

Apesar dos teores em fósforo e magnésio totais não terem revelado diferenças significativas nos diferentes tipos de lamas de depuração, no geral, verificou-se que os teores de fósforo foram consideráveis e os de magnésio, tal como no potássio, foram baixos. Estes resultados obtidos estão de acordo com Quelhas dos Santos (1995) no qual refere que as lamas de depuração têm elevado interesse fertilizante devido sobretudo às concentrações consideráveis de azoto, fósforo e cálcio. Gonçalves (2005), por outro lado, refere que as principais características das lamas de depuração que lhe conferem valor agronómico são a sua riqueza em matéria orgânica e os elevados teores de azoto e fósforo. Contudo, a má gestão das lamas de depuração ou a sua aplicação descontrolada

no solo podem resultar em graves problemas de contaminação, principalmente nos casos do azoto e do fósforo (Gonçalves, 2005). Estes resultados também estão de acordo com os publicados por Domingues (1999) e Varennes (2003), uma vez que referem que as lamas de depuração são pobres em potássio.

Relativamente aos metais pesados (Cu, Zn, Ni, Cr, Pb e Hg), observou-se que os teores são sempre superiores nas lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas, especialmente para o cobre, o qual foi significativamente superior em comparação com os outros tipos de lamas de depuração estudadas, e o zinco que foi significativamente superior às lamas provenientes do tratamento local de efluentes referentes a resíduos da preparação e processamento de frutos, produtos hortícolas, etc. e às lamas da produção e transformação da pasta de papel. As lamas provenientes de resíduos da preparação e processamento de frutos, produtos hortícolas, etc., apresentaram teores de mercúrio significativamente superiores aos restantes tipos de lamas estudadas. As lamas provenientes da produção e transformação da pasta de papel tenderam a ter teores de metais pesados inferiores aos das outras lamas de depuração, tendo sido para o cobre, zinco, níquel, crómio e chumbo significativamente inferiores aos das lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas. Entre as lamas de depuração estudadas não houve diferenças significativas nos teores de cádmio apesar da tendência desses teores para serem superiores nas lamas provenientes de resíduos da preparação e processamento de frutos, produtos hortícolas, etc. e nas do tratamento de águas residuais urbanas.

Os resultados obtidos, para todas as lamas de depuração, foram muito inferiores aos valores limite de concentração de metais pesados nas lamas destinadas à aplicação no solo agrícola (Decreto-Lei n.º 276/2009), no entanto comparando com a legislação que refere os valores máximos admissíveis para os teores de metais pesados nas matérias fertilizantes com componentes orgânicos, por classe ( $\text{mg kg}^{-1}$  na matéria seca), (Decreto-Lei n.º 103/2015) observou-se que os teores de cádmio, zinco, mercúrio e cobre seriam os que mais limitariam a sua utilização na valorização agrícola. No futuro, será expectável ocorrer uma atualização da presente legislação das lamas e esta poderá ser mais exigente nos limites máximos estabelecidos para os metais pesados.

Apesar da existência de valores de referência nas diferentes legislações, tais como o Decreto-Lei n.º 276/2009 e o Decreto-Lei n.º 103/2015, é preciso

não esquecer que estes valores limite são uma maneira simplificada de abordar a problemática dos metais pesados, na valorização agrícola, uma vez que a dinâmica e disponibilidade dos metais pesados são processos controlados por inúmeros fatores tais como o pH, potencial redox, textura, composição mineral, características do perfil, capacidade de troca catiónica, quantidade e tipo de componentes orgânicos do solo, presença de outros metais pesados, temperatura do solo, teor em água e outros fatores que afetam a atividade microbiana (Pendias e Pendias, 1991; Moreira, 2004; Pedra, 2007). Nesse sentido, Domingues (1999) refere que não se devem considerar apenas os teores "totais" das lamas de depuração e dos solos como fator limitante da aplicação das lamas de depuração, mas também a forma destes elementos. Assim, as extrações com EDTA e a extração sequencial poderão revelar-se como métodos indicativos da disponibilidade e retenção dos metais pesados nos solos. Deste modo, estes estudos merecem ser mais aprofundados, com esquemas de extrações usando extratantes mais específicos para cada metal pesado, em conjunto ou em sequência, que poderão contribuir valiosamente para o aumento do conhecimento científico nesta área (Domingues, 1999) e possivelmente influenciar futura legislação nacional. Comparando os resultados obtidos, nos diferentes tipos de lamas, com os anteriormente publicados verificou-se que de um modo geral todos os metais pesados, exceto o cádmio, tenderam a ser inferiores aos referenciados pelo Código de Boas Práticas Agrícolas (1997), Domingues (1999) e Gonçalves (2005). Os teores de cádmio encontrados foram efetivamente ligeiramente superiores aos trabalhos anteriormente publicados sobre a caracterização das lamas de depuração devido, principalmente, aos teores encontrados nas lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas e provenientes de resíduos da preparação e processamento de frutos, produtos hortícolas, etc. Dos restantes metais pesados, aquele que mais sobressaiu foi o zinco pois os valores encontrados neste trabalho foram pelo menos três vezes mais baixos do que os referenciados pelo Código de Boas Práticas Agrícolas (1997), Domingues (1999) e Gonçalves (2005). Este resultado é muito positivo uma vez que Domingues (1999) e Pedra (2007) referem que as elevadas quantidades de zinco presentes nas lamas de depuração, devido à sua biodisponibilidade, poderá ser um fator de risco ambiental, no que respeita à fitotoxicidade e à contaminação ambiental.

Em relação aos compostos orgânicos, verificou-se a ausência de referências na caracterização de lamas

de depuração. As lamas de depuração provenientes da produção e transformação da pasta de papel apresentaram teores de NPE, PAH e PCB superiores às restantes lamas de depuração. No entanto, os teores obtidos em todas as lamas de depuração estudadas foram inferiores aos legislados pelo Decreto-Lei n.º 276/2009 e pelo Decreto-Lei n.º 103/2015. Tal como nos metais pesados, será expectável que os limites exigidos numa futura legislação sejam inferiores aos estabelecidos na presente legislação e por isso há que ter especial atenção às concentrações do LAS uma vez que 8 % das amostras analisadas apresentaram valores acima de 2 600 mg kg<sup>-1</sup> (valor limite no Decreto-Lei n.º 103/2015), sendo que dessas amostras, 89 % provinham das lamas referentes ao tratamento de águas residuais urbanas. Domingues (1999) justifica o aparecimento de teores anómalos de alguns elementos nas lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas através de descargas de efluentes na rede pública, resultantes de atividades exercidas por empresas autónomas ou resultantes de atividades secundárias das próprias empresas (lavandarias, tinturarias, confeções de vestuário ou malhas, etc.).

#### 4. CONCLUSÕES

Com o presente trabalho pode concluir-se o seguinte:

1. Entre 2010 e 2015 não houve uma tendência nítida na evolução do número de relatórios de análise laboratorial recebidos pelas DRAP em sede de licenciamento PGL, não sendo assim possível verificar se tem havido uma evolução positiva ou negativa, ao longo do tempo, na utilização de lamas de depuração em solos agrícolas.
2. 88 % dos relatórios de análise laboratorial de lamas de depuração recebidos pelas DRAP provieram do tratamento de águas residuais urbanas e da produção e transformação da pasta de papel, sugerindo que estes tipos de lamas são os mais utilizados na valorização agrícola.
3. Todas as lamas estudadas apresentaram teores consideráveis em matéria orgânica, azoto total e fósforo total, no entanto só as lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas e provenientes de resíduos da preparação e processamento de frutos, produtos hortícolas, etc. tiveram teores que possibilitavam a ser equiparadas a adubos orgânicos azotados, segundo classificação pelo Decreto-Lei n.º 103/2015.

4. As lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas apresentaram valores muito altos de pH e cálcio total, podendo ser limitativos na valorização agrícola, especialmente se os solos tiverem pH neutro ou alcalino.
5. Verificou-se que nos diferentes tipos de lamas de depuração estudadas os teores de metais pesados, excluindo o cádmio, têm vindo a diminuir sendo de salientar a diminuição do zinco, especialmente nas lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas.
6. Apesar dos teores dos metais pesados estarem muito abaixo dos valores limite do Decreto-Lei n.º 276/2009, se tivermos em conta o Decreto-Lei n.º 103/2015, os teores em cádmio para todos os tipos de lamas de depuração estudadas, os teores em zinco e cobre para as lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas e os teores em mercúrio para as lamas provenientes do tratamento local de efluentes referentes a resíduos da preparação e processamento de frutos, produtos hortícolas, etc poderão limitar a aplicação de lamas de depuração numa futura legislação.
7. Os teores em níquel, crómio e chumbo mostraram-se muito baixos em todas as lamas de depuração estudadas.
8. Apesar dos teores dos compostos orgânicos terem sido muito inferiores aos valores limite estabelecidos pelo Decreto-Lei n.º 276/2009, se tivermos em conta o Decreto-Lei n.º 103/2015, os teores de LAS presentes, especialmente nas lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas, poderão ser um problema numa futura legislação.

#### BIBLIOGRAFIA

- Agência Portuguesa do Ambiente (APA). 2013. Gestão de Lamas de Estações de Tratamento de Águas Residuais Urbanas (2010 – 2013), setembro, 16 pp.
- Antas, A.; Bau, J.; Catarino, L. 2002. Gestão de lamas de ETA e ETAR. In: Gestão e valorização de lamas de ETA's e ETAR's em Portugal – Volume de comunicações, Lisboa, junho.
- Carrasco de Brito, J.M. 1986. As lamas pretas como fertilizante (Contribuição para o seu estudo). Trabalho elaborado com vista à obtenção do Grau de Doutor. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

- Carteiro, P. 2002. Estratégia para a valorização orgânica das lamas de ETAR'S. In Gestão e valorização de lamas de ETA's e ETAR's em Portugal – Volume de comunicações, APDA, 27-28 de junho de 2002, Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 276/2009. Estabelece o regime de utilização de lamas de depuração em solos agrícolas, de forma a evitar efeitos nocivos para o homem, para a água, para os solos, para a vegetação e para os animais, promovendo a sua correcta utilização, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 86/278/CEE (EUR-Lex), do Conselho, de 12 de junho. Diário da República n.º 192, Série I, 2 de outubro, pp. 7154-7165.
- Decreto-Lei n.º 103/2015. Estabelece as regras a que deve obedecer a colocação no mercado de matérias fertilizantes, assegurando a execução na ordem jurídica interna das obrigações decorrentes do Regulamento (CE) n.º 2003/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de outubro de 2003, relativo aos adubos. Diário da República n.º 114, Série I, 15 de junho, pp. 3756–3788.
- Dias, J.C.S., 2004. Guia de Boas práticas – Aplicação de Lamas na Agricultura. Reciclamas – Multigestão ambiental, S.A., Lisboa, 159 pp.
- Domingues, H. 1990. Lamas residuais de depuração. Presença de alguns metais pesados e seu valor agrícola. Trabalho de síntese elaborado para a prova complementar para acesso à categoria de Assistente de Investigação, EAN, Oeiras, :35.
- Domingues, H. 1997. Caracterização química das lamas residuais urbanas. Conferência apresentada no Seminário “Valorização e Destino Final das Lamas”, realizado pela Associação Portuguesa de Empresas de Tecnologias Ambientais (APEMETA), (Abril, INETI, Lisboa). Seminário “Valorização e Destino Final das Lamas”:1-24.
- Domingues, H. 1999. Comportamento de Metais Pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn) em Solos Tratados com Lamas Residuais Urbanas, dissertação de Doutoramento em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa; Lisboa. pp. 283.
- Florindo, F. 2009. Caracterização das lamas geradas e sua valorização nos subsistemas dos SMAS-Sintra. Delineamento de um Modelo Conceptual de Gestão. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais. Universidade Técnica de Lisboa/ Instituto Superior de Agronomia.
- Gonçalves, M.S. 2005. Gestão de Resíduos Orgânicos. SPI – Sociedade Portuguesa de Inovação. pp.104.
- Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. 1997. Código de boas práticas agrícolas para protecção da água contra a poluição com nitratos de origem agrícola.
- Moreira, C.S. 2004. Adsorção competitiva de cádmio, cobre, níquel e zinco em solos. Dissertação de Mestrado, escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- Neves, E. B. 2002. Valorização de lamas. In Gestão e valorização de lamas de ETA's e ETAR's em Portugal – Volume de comunicações, APDA, 27-28 de junho de 2002, Lisboa.
- Oliveira, V. 2009. Valorização de Resíduos da Indústria da Pasta e Papel – Compostagem e Aplicação do composto no Solo. Trabalho de dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. FCT/Universidade do Algarve.
- Pedra, F. 2007. Aproveitamento Agrícola de dois Correctivos Orgânicos Aplicados em dois Solos: Dinâmica da Matéria Orgânica, dos Metais Pesados e efeito sobre o Comportamento das Plantas, dissertação de Doutoramento em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa; Lisboa. pp. 313.
- Pedra, F., Polo, A., Ribeiro, A., Domingues, H. 2007. Effects of municipal solid waste compost and sewage sludge on soil organic matter mineralization. Soil Biology and Biochemistry 39, 1375-1382.
- Pendias, A.K., Pendias, H. 1991. Trace Elements in Soils and Plants. 2<sup>nd</sup> edition, CRC Press Inc.
- Pinto, F. C. 2002. O uso das lamas de tratamento como fertilizante à luz do código de boas práticas agrícolas. In Gestão e valorização de lamas de ETA's e ETAR's em Portugal – Volume de comunicações, APDA, 27-28 de junho de 2002, Lisboa.
- Quelhas dos Santos, J. 1995. Fertilização e Poluição. Reciclagem Agro-Florestal de Resíduos. J. Quelhas dos Santos, Lisboa, 192 pp.
- Sequeira, E.M. e Domingues, H. 1993. Contribuição para a caracterização de algumas lamas residuais portuguesas. Comun. oral apresentada no Seminário sobre “Tratamento e Destino Final de Lamas de Águas Residuais”, (junho, LNEC, Lisboa).

Seminário sobre Tratamento e Destino Final de Lamas de Águas Residuais :2.6-2.17.

Sequeira, E.M., Silva, J.M.V., Domingues, H., Branco, M.A.C. 1994. Aplicação de lamas residuais e pirite em solos agrícolas. Riscos ambientais. Comun. oral apresentada na 4ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente (Abril, Lisboa). 4ª Conferência Nacional Sobre a Qualidade do Ambiente, Tema "O" Poluição do Solo, Dep. Ciênc. e Eng. Amb., Fac. Ciências e Tecnologia, U.N.L. II :O50-O59.

Sequeira, E. M. 2002. O uso das lamas de ETAR no combate à desertificação – O caso do Projecto piloto de combate à desertificação da LPN. In Gestão e valorização de lamas de ETA's e ETAR's em Portugal – Volume de comunicações, APDA, 27-28 de junho de 2002, Lisboa.

Silveira, A. Valorização agrícola de lamas de ETAR's. Artigo apresentado na Revista Liberne (revista da Liga para a Proteção da Natureza). Julho/setembro, n.º 76. 2002. pp3-5.

Varenes, A. 2003. Produtividade dos Solos e Ambiente – Escolar Editora, Lisboa.

Victor, A. 2010. Valorização Agrícola de Lamas de ETAR: Enquadramento e Perspectivas Futuras. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente. Universidade de Coimbra/ faculdade de Ciências e Tecnologia.