



Universidade dos Açores
Departamento de Ciências Agrárias

Utilização de Lamas de ETAR Municipal na Cultura do Milho

Mestrado em Engenharia Agronómica

António Manuel Amaral de Melo

Angra do Heroísmo
2011



Universidade dos Açores
Departamento de Ciências Agrárias

Utilização de Lamas de ETAR Municipal na Cultura do Milho

Mestrado em Engenharia Agronómica

António Manuel Amaral de Melo

Orientadores:

Prof. Doutor Paulo Ferreira Mendes Monjardino

Prof. Doutor Jorge Alberto Vieira Ferraz Pinheiro

Dissertação apresentada na
Universidade dos Açores para a
obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Agronómica.

Angra do Heroísmo
2011

AGRADECIMENTOS

A realização de um trabalho deste tipo que embora seja de índole pessoal comporta sempre a participação de um conjunto de outras pessoas e que importa neste momento agradecer. Sendo assim quero agradecer:

À minha família mais próxima pelo apoio permanente durante a realização deste trabalho.

Ao Professor Paulo Monjardino orientador deste trabalho pelos conhecimentos transmitidos, contínua dedicação e consequente presença durante todo o tempo de realização do trabalho.

Ao Professor Jorge Pinheiro também orientador deste trabalho por ter ajudado em tudo o que foi necessário e sempre que se justificou.

À Eduarda Bairos, colega de Mestrado e de investigação durante os últimos dois anos, por todo o apoio dado e também pela colaboração em todas as actividades de campo.

À Carina Costa, Jorge Azevedo e Pedro Silveira, colegas de Mestrado, pelo incentivo e pela boa companhia que foram nestes últimos anos.

À Engenheira Maria Ekström dos Serviços Municipalizados pela colaboração prestada ao longo deste trabalho.

Ao Sr. Paulo Ferreira da Granja Universitária e sua equipa por todo o apoio dado a nível de logística nos trabalhos desenvolvidos na Granja.

À Senhora Engenheira Lurdes Matos e toda a sua equipa do laboratório de Solos e Plantas pelo constante apoio dado na realização de análises de solos.

Ao Milton Figueiredo pela colaboração em algumas actividades dos trabalhos de campo

À Sara Rocha pela ajuda que deu durante algumas actividades do trabalho de campo.

Aos Serviços Municipalizados de Angra do Heroísmo pelo apoio logístico durante os trabalhos de campo.

RESUMO

A utilização de lamas de ETAR na agricultura é uma das alternativas a considerar para este tipo de resíduos, promovendo a sua valorização e com isso aplicar nutrientes ao solo, substituindo a adubação química tradicional e incrementar os níveis de matéria orgânica. No sistema agrícola açoriano, uma possibilidade de aplicação destas lamas é na cultura do milho. Com este trabalho pretendeu-se avaliar as vantagens e desvantagens da aplicação de diferentes quantidades de lamas com dois valores diferentes de pH e determinar os efeitos na produtividade desta cultura e os níveis de fertilidade do solo.

No ensaio realizado as modalidades testadas foram 12, 24 e 36 toneladas de matéria fresca/ha de lamas com calagem a dois níveis diferentes, mais a adubação K, tendo como controlos a adubação K e a adubação de NPK. Para avaliação da produtividade da cultura, determinou-se o peso fresco das plantas colhidas e a produtividade de matéria seca (MS) total e MS em grão. Em relação aos níveis de fertilidade do solo efectuaram-se recolhas de amostras compostas antes da aplicação de lamas e depois da colheita da cultura para a determinação de diversos parâmetros químicos de caracterização.

Quanto aos resultados, verificou-se que a produção da cultura foi claramente superior com a aplicação de lamas, aumentando em função da dose de aplicação. Também se verificou que os níveis de fertilidade no solo depois da colheita do milho foram de um modo geral superiores. Em virtude destes dados, no sistema de produção em questão, em que o milho é cultivado para silagem numa rotação plurianual com pastagem permanente, e respeitando os preceitos legais estabelecidos para a utilização deste tipo de resíduos na agricultura, constata-se que pode ser vantajosa a utilização de lamas de ETAR municipais quando comparado com a fertilização química, contribuindo ainda para a resolução dum problema ambiental.

ABSTRACT

The use of sewage sludge from municipal water treatment plants in agriculture is one sustainable alternative of using such residues and replacing the traditional chemical fertilization and can increase the soil organic matter content. In the azorian agricultural system, maize is a crop for which sludge can be applied. The main goal of this study was to evaluate the advantages and disadvantages of the application of various amounts of sludge with different pH and determine the effects on productivity and soil fertility.

In this trial we tested 12, 24 and 36 tons of fresh matter of sludge per hectare with one and two liming stages, plus K fertilization; the controls were K and NPK at sowing. In order to estimate productivity, total fresh and dry weight and kernel yield were measured. Soil fertility levels were measured upon samples collected before sludge application and after harvest.

The results clearly showed that yield improved with sludge application, being proportionally higher with the amount of sludge. The soil fertility levels also improved with sludge application.

We concluded that, in the present production system where maize for silage is grown in rotation with multiannual pasture, as long as it is in compliance with legal requirements, municipal sludge application can be advantageous as compared with chemical fertilization, and contributes to the resolution of an environmental liability.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO.....	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE GERAL	VI
SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE QUADROS	X
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A UTILIZAÇÃO DE LAMAS DE ETAR MUNICIPAIS NA AGRICULTURA.....	3
1.1– Lamas de depuração	3
1.2– Níveis actuais de produção de lamas	4
1.3 – Composição das lamas de depuração	8
1.3.1. - Teor de matéria orgânica e nutrientes	8
1.3.2 – Elementos potencialmente tóxicos	8
1.3.3 – Contaminantes orgânicos.....	9
1.3.4 – Microrganismos patogénicos.....	10
1.4– Destino final das lamas de depuração.....	12
1.4.1 – Incineração.....	12
1.4.2 – Deposição em aterro	13
1.4.3 – Utilização na agricultura.....	13
1.4.3.1 – Custos internos da reciclagem	14
1.4.3.2 – Custos externos da reciclagem	15
1.5 – Valor agrícola das lamas de depuração	16
1.6 – Riscos actuais para a saúde humana e o meio ambiente.....	16
1.7 – Legislação.....	17

CAPÍTULO 2 - ENSAIO EXPERIMENTAL DE APLICAÇÃO DE LAMAS NA CULTURA DE MILHO	23
2.1 - Material e Métodos.....	23
2.1.1 – Cultivar de milho ensaiada e caracterização do local.....	23
2.1.2 – Delineamento do ensaio.....	23
2.1.3 – Características das lamas	24
2.1.4 – Análises químicas dos solos	26
2.1.5 – Operações agrícolas.....	27
2.1.6 – Determinação da produtividade.....	28
2.2 - Resultados e Discussão	29
2.2.1 – Características das lamas	29
2.2.3 – Análise da produtividade	32
2.2.3.1 - Produtividade da matéria seca total.....	32
2.2.3.2 - Produtividade de grão em matéria seca.....	34
2.2.4- Níveis de fertilidade do solo.....	36
2.2.4.1 - pH.....	36
2.2.4.2 – Matéria Orgânica	38
2.2.4.3 - Fósforo	39
2.2.4.4 – Potássio.....	40
2.2.4.5 – Cálcio.....	41
2.2.4.6 – Magnésio	43
2.3 - Conclusões	44
 BIBLIOGRAFIA	 45
 ANEXOS	 48

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AOX – compostos organo-halogenados adsorvíveis ou haletos orgânicos adsorvíveis

Ca - Cálcio

DEHP – ftalato de 2-etilhexilo

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

ha - hectares

K - Potássio

LAS – alquilo-benzo-sulfonatos lineares

Mg - Magnésio

MS – Matéria seca

MO – matéria orgânica

N – Azoto

N total – Azoto total

NPE – nonilfenóis e nonoilfenóis etoxilados

P - Fósforo

PAH – hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

PCB – compostos bifenilos policlorados

PCDD/F – policlorodibenzodioxinas/furanos

ton - Toneladas

UE – União Europeia

UE12 – Os 12 Estados Membros que aderiram à União Europeia entre 2004 e 2008

UE15 – Os 15 Estados Membros que aderiram à União Europeia antes de 2004

UE27 – Todos os Estados Membros depois de 2008

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Aspecto da dispersão das lamas no solo nas três modalidades testadas. A) 12ton/ha; B) 24ton/ha; C) 36ton/ha.....	28
Figura 2.2 - Sementeira de precisão.....	28
Figura 2.3 - A) Corte de plantas no campo; B) Determinação de MS total e C) Determinação de MS em grão.....	28
Figura 2.4 - Valores médios de produtividade de MS total nas diferentes modalidades no ano de 2010.....	33
Figura 2.5 - Valores médios de produtividade de MS total nas diferentes modalidades no ano de 2011.....	34
Figura 2.6 - Valores médios de produtividade de MS grão nas diferentes modalidades no ano de 2010.....	35
Figura 2.7 - Valores médios de produtividade de MS grão nas diferentes modalidades no ano de 2011.....	36

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1 - Produção de lamas e quantidades utilizadas na agricultura na União Europeia.....	4
Quadro 1.2 - Estimativas previstas em 2008 para os anos de 2010 e 2020 sobre a quantidade anual de lamas produzidas e destino final.....	7
Quadro 1.3 - Quantidade de metais pesados presentes nas lamas de depuração.....	9
Quadro 1.4 – Principais compostos orgânicos nas lamas de depuração.....	10
Quadro 1.5 - Eficiência de remoção de microrganismos nos processos de tratamento..	11
Quadro 1.6 – Sobrevivência dos organismos patogénicos no solo e nas plantas.....	12
Quadro 1.7 - Impactos da utilização de lamas no solo.....	15
Quadro 1.8 - Valores limite de concentração de metais pesados no solo receptor.....	19
Quadro 1.9 - Valores limite de concentração de metais pesados nas lamas de depuração destinadas à agricultura.....	19
Quadro 1.10 - Valores limite para as quantidades anuais de metais pesados que podem ser introduzidas nos solos cultivados (média de 10 anos).....	20
Quadro 1.11 - Valores limite de concentração de compostos orgânicos nas lamas destinadas à agricultura.....	20
Quadro 1.12 - Valores limite de concentração de dioxinas nas lamas destinadas à agricultura.....	20

Quadro 2.1 – Métodos de análise utilizados em cada parâmetro das lamas.....	25
Quadro 2.2 - Métodos de análise utilizados em cada parâmetro do solo.....	26
Quadro 2.3 - Resultados das análises efectuadas às lamas utilizadas no ensaio de 2010 e de 2011.....	29
Quadro 2.4 - Resultados das análises efectuadas ao solo receptor das lamas do ensaio de 2010 e de 2011.....	31
Quadro 2.5 - Valores médios e desvio padrão de pH antes e depois da aplicação de lamas e respectiva variação para 2010 e 2011.....	37
Quadro 2.6 - Valores médios e desvio padrão, em percentagem, de matéria orgânica antes e depois da aplicação de lamas e respectiva variação para 2010 e 2011.....	39
Quadro 2.7 - Valores médios e desvio padrão, em mg/kg, de fósforo antes e depois da aplicação de lamas e respectiva variação para 2010 e 2011.....	40
Quadro 2.8 - Valores médios e desvio padrão, em mg/kg, de potássio antes e depois da aplicação de lamas e respectiva variação para 2010 e 2011.....	41
Quadro 2.9 - Valores médios e desvio padrão, em mg/kg, de cálcio antes e depois da aplicação de lamas e respectiva variação para 2010 e 2011.....	42
Quadro 2.10 - Valores médios e desvio padrão, em mg/kg, de magnésio antes e depois da aplicação de lamas e respectiva variação para 2010 e 2011.....	43

INTRODUÇÃO

Com o aumento progressivo da produção de resíduos, a sua gestão torna-se num dos grandes problemas da actualidade que temos para resolver. Um dos resíduos que se pode enquadrar neste paradigma actual são as lamas de depuração produzidas nas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR).

As lamas resultantes do tratamento de águas residuais necessitam de um destino final adequado para a sua deposição. Existem diferentes alternativas, tais como a deposição em aterro (cada vez menos utilizada), a incineração, a compostagem ou a valorização através de aplicação em solos agrícolas e florestais, sendo esta última considerada como uma das mais viáveis (Pereira, 2010). Com a necessidade constante de proteger o meio ambiente, então poderemos ter aqui uma forma simultânea de destino final e de reaproveitamento através de um aumento da fertilidade dos solos (Borges, 2001). Contudo, é sempre necessário ter conta que resíduos deste tipo têm na sua composição elementos que podem ser prejudiciais para a saúde pública e também para o meio ambiente (Mota e Mestre, 2007), mormente metais pesados e/ou microrganismos patogénicos.

Com o passar dos anos é cada vez maior a produção de lamas em Portugal: em 2006 a produção foi de 401.000 toneladas de matéria seca, em 2010 previa-se já uma estimativa de 420.000 toneladas de matéria seca e a previsão para o ano de 2020 aponta para uma produção anual de 750.000 toneladas de matéria seca (Milieu *et al.*, 2008). Ora tendo em conta estes valores a procura de soluções adequadas é cada vez mais importante.

A utilização das lamas de depuração na agricultura encontra-se enquadrada a nível legislativo na Directiva Europeia nº 86/278/CEE que estabelece as normas e os limites à utilização deste tipo de resíduos. Nos Açores esta legislação encontra-se descrita no Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de Outubro.

Tendo em conta o impacto da pecuária na agricultura da região Açores, a utilização das lamas poderá ser uma opção nomeadamente na cultura do milho que é praticada com alguma expressão no arquipélago. Anualmente poderão ser utilizadas até seis toneladas de matéria seca por hectare como fonte de nutrientes, nomeadamente de azoto e fósforo.

Deste modo, neste trabalho pretende-se num primeiro capítulo fazer uma revisão bibliográfica sobre a utilização das lamas de depuração na agricultura, nomeadamente constatando o que tem de positivo e o que tem de negativo. Num segundo capítulo pretende-se apresentar e discutir os resultados de um ensaio de campo realizado em 2010 e em 2011 em que foram aplicadas diferentes quantidades de lamas por hectare com dois níveis diferentes de calagem.

CAPÍTULO 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A UTILIZAÇÃO DE LAMAS DE ETAR MUNICIPAIS NA AGRICULTURA

1.1– Lamas de depuração

As lamas que têm origem nas ETAR municipais são um subproduto resultante do tratamento de depuração das águas. De acordo com a alínea o) do artigo 3º do Decreto Legislativo Regional Nº 18/2009/A de 19 de Outubro, são lamas de depuração “ as lamas residuais, tratadas ou não, originadas pelo funcionamento de estações de tratamento de águas residuais domésticas ou urbanas e de outras estações de tratamento de águas residuais de decomposição similar às águas residuais domésticas e urbanas, as lamas residuais de tanques sépticos e de outras instalações similares para o tratamento de águas residuais e ainda as lamas provenientes de estações de tratamento de águas residuais de actividades agro-pecuárias e agro-industriais”. De acordo ainda com a alínea n) do mesmo artigo, lamas tratadas “ são as lamas tratadas por via biológica, química ou térmica, por armazenagem a longo prazo ou por qualquer outro processo com o objectivo de eliminar todos os microrganismos patogénicos que ponham em risco a saúde pública e reduzir significativamente o seu poder de fermentação, de modo a evitar a formação de odores desagradáveis”.

1.2– Níveis actuais de produção de lamas

A produção total de lamas de depuração na União Europeia estima-se nos anos mais recentes em cerca de 10 milhões de toneladas de MS como se pode observar no Quadro 1.1.

Quadro 1.1 - Produção de lamas e quantidades utilizadas na agricultura na União Europeia.

Estado membro	Ano	Produção de lamas (ton de MS)	Utilização na Agricultura	
			(ton de MS)	(%)
Áustria	2006	252800	38400	16
Bélgica	-----	-----	-----	-----
- Região Bruxelas	2006	2967	0	0
- Região Flamenga	2006	101913	0	0
- Região da Valónia	2007	31380	10927	35
Dinamarca	2002	140021	82029	59
Finlândia	2005	147000	4200	3
França	2007	1125000	787500	70
Alemanha	2007	2056486	592552	29
Grécia	2006	125977	56.4	<1
Irlanda	2003	42147	26743	63
Itália	2006	1070080	189554	18
Luxemburgo	2005	8200	3780	46
Holanda	2003	550000	34	<1
Portugal	2006	401000	225300	56
Espanha	2006	1064972	687037	65
Suécia	2006	210000	30000	14
Reino Unido	2006	1544919	1050526	68
Sub total UE 15	-----	8874862	3728638	42
Bulgária	2006	29987	11856	40
Chipre	2006	7586	3116	41
República Checa	2007	231000	59983	26
Estónia	2005	26800	3316	12
Hungria	2006	128380	32813	26
Letónia	2006	23942	8936	37
Lituânia	2007	76450	24716	32
Malta	-----	Nd	Nd	Nd
Polónia	2006	523674	88501	17
Roménia	2006	137145	0	0
Eslováquia	2006	54780	33630	62
Eslovénia	2007	21139	18	<1
Sub total UE 12		1260883	266885	21
Total		10135745	3995523	39

Fonte: Adaptado de (Milieu *et al.*, 2008).

Muitos países já optam pela utilização das lamas na agricultura, estimando-se a percentagem total de utilização à volta dos 40%, contribuindo mais para este valor países como a Dinamarca, a França, Espanha, Irlanda ou o Reino Unido. Por outro lado, também ainda existem países onde a utilização é menos expressiva como sejam a Grécia, a Holanda ou a Eslovénia que nem atingem 1% das lamas que produzem.

Nos países UE15 a percentagem de lamas que é utilizada na agricultura é o dobro daquela que se pratica nos países UE12. Além deste aspecto também a UE15 tem uma maior produção de lamas, isto devido ao facto de ter uma população maior e também por ter uma maior taxa de ligação ao tratamento de águas residuais urbanas.

No que diz respeito a alternativas, na UE15 se as lamas não são utilizadas na agricultura então a alternativa principal tem sido a incineração enquanto que nos países UE12 a alternativa passa essencialmente pela deposição em aterro sanitário. Contudo em ambos os grupos a variação entre países é elevada (Milieu *et al.*, 2008).

No que diz respeito a cenários futuros, Milieu *et al.* (2008) sugere que não havendo uma mudança na directiva europeia que regula a questão das lamas de depuração, pode-se ter uma perspectiva de como serão as coisas no futuro tendo em conta os dados actuais, desenvolvendo-se assim um cenário de referência para a década de 2010 a 2020. As tendências que se prevêem para a produção de lamas na UE27 alicerçam nos seguintes pressupostos: 1) de acordo com o Eurostat a população europeia irá passar de cerca de 500 milhões em 2010 para cerca de 514 milhões em 2020; 2) a produção industrial vai crescer, havendo melhorias nos processos de produção e de protecção ambiental; 3) irá continuar a aumentar a rede de saneamento básico e de tratamento de águas residuais na UE27, logo mais lamas a serem produzidas e que terão que ter uma gestão adequada; 4) uma melhoria a nível do tratamento das águas residuais, melhorando a qualidade das lamas ao nível dos constituintes mais perigosos.

Tendo em conta desenvolvimentos deste tipo na legislação, em 2008 prevê-se que venham a surgir grandes alterações de forma a incentivar o uso de lamas na agricultura, tais como:

- A quantidade de lamas a depositar em aterro será cada vez menor, sendo que na UE27 passará a ser mínima até 2020;
- Será intensificado o tratamento antes da utilização das lamas no solo, recorrendo-se também a compostagem. A utilização de lamas em bruto terá tendência a desaparecer;
- Restrição cada vez maior da utilização de lamas em certo tipo de culturas;

- A incineração deverá aparecer como principal alternativa à utilização agrícola.

Por outro lado, devido à problemática das mudanças climáticas, a gestão de lamas poderá ser influenciada pela diminuição da emissão de gases com efeito de estufa e por uma maior recuperação energética com aumento da produção de biogás.

Tendo em conta estes desenvolvimentos, Milieu *et al.* (2008) previa para 2010 uma produção de lamas na UE27 de cerca de 11,5 milhões de toneladas de MS e prevê ainda para 2020 uma produção de cerca de 13 milhões de toneladas de MS. É ainda possível ver no Quadro 1.2 qual o destino final em percentagem das lamas produzidas.

De um modo geral, muitos daqueles factores que vão influenciar os níveis de produção de lamas e a utilização na agricultura ainda são desconhecidos. O desenvolvimento de novas tecnologias no tratamento de lamas, a forma como a população for reagindo à sua aplicação nos solos agrícolas, a disponibilidade de nutrientes minerais e os resultados de avaliações feitas sobre a utilização das lamas e consequente reacção pública poderão ser as principais incertezas.

Quadro 1.2 - Estimativas previstas em 2008 para os anos de 2010 e 2020 sobre a quantidade anual de lamas produzidas e destino final.

Estado Membro	2010					2020				
	Total Lamas (ton MS)	Aplicação ao solo (%)	Incineração (%)	Aterro (%)	Outros (%)	Total Lamas (ton MS)	Aplicação ao solo (%)	Incineração (%)	Aterro (%)	Outros (%)
UE12										
Bulgária	47000	50	0	30	20	151000	60	10	10	20
Chipre	10800	50	0	40	10	17620	50	10	30	10
Rep. Checa	260000	55	25	10	25	260000	75	20	5	5
Estónia	33000	15			85	33000	15			85
Hungria	175000	75	5	10	5	200000	60	30	5	5
Letónia	30000	30		40	30	50000	30	10	20	30
Lituânia	80000	30	0	5	65	80000	55	15	5	25
Malta	10000			100		10000	10		90	
Polónia	520000	40	5	45	10	950000	25	10	20	45
Roménia	165000	0	5	95		520000	20	10	30	40
Eslováquia	50000	50	5	5	10	135000	50	40	5	5
Eslovénia	25000	5	25	40	30	50000	15	70	10	5
UE12 Total	1411000	41	8	35	17	2457000	37	16	17	31
UE15										
Áustria	273000	15	40	>1	45	280000	5	85	>1	10
Bélgica	170000	10	90			170000	10	90		
Dinamarca	140000	50	45			140000	50	45		
Finlândia	155000	5			95	155000	5	5		90
França	1300000	65	15	5	15	1400000	75	15	5	5
Alemanha	2000000	30	50	0	20	2000000	25	50	0	25
Grécia	260000	5		95		260000	5	40	55	
Irlanda	135000	75		15	10	135000	70	10	5	10
Itália	1500000	25	20	25	30	1500000	35	30	5	30
Luxemburgo	10000	90	5		5	10000	80	20		
Holanda	560000	0	100			560000	0	100		
Portugal	420000	50	30	20		750000	50	40	5	5
Espanha	1280000	85	10	20		1280000	70	25	5	
Suécia	250000	15	5	1	75	250000	15	5	1	75
Reino Unido	1640000	70	20	1	10	1640000	65	25	1	10
UE15 Total	10153000	43	29	11	17	10530000	44	37	4	15
UE27 Total	11564000	42	27	14	16	13047000	44	32	7	16

Fonte: Adaptado de (Milieu *et al.*, 2008).

1.3 – Composição das lamas de depuração

1.3.1. - Teor de matéria orgânica e nutrientes

As lamas de depuração são ricas em matéria orgânica, azoto, fósforo, cálcio, magnésio e também micronutrientes.

A matéria orgânica é um largo e heterogêneo conjunto de substâncias que embora tenham em comum o facto de serem produtos orgânicos podem apresentar características diferentes conforme o grau de transformação que tenham sofrido (Santos, 2002).

O azoto está disponível consoante o tratamento a que as lamas foram submetidas, mas normalmente encontra-se na forma orgânica que depois será transformada no decurso das várias etapas do processo de mineralização. Deste modo, o azoto que se encontra disponível nas lamas será não só em menor concentração mas também de libertação mais gradual em comparação com o que se encontra disponível nos adubos tradicionais. Assim sendo, as lamas podem actuar como um fertilizante de libertação mais lenta, o que pode contribuir para a redução das perdas de azoto.

Em relação ao fósforo, este também é um nutriente que existe de forma relativamente elevada nas lamas e segundo Brito (1986) *in* Borges (2001) cerca de 50% deste nutriente presente nas lamas está disponível para as plantas.

No que concerne ao potássio que também é um macronutriente principal, pois é absorvido pelas plantas em grandes quantidades, existe em quantidades reduzidas nas lamas ao contrário do azoto e do fósforo.

Os macronutrientes secundários cálcio, magnésio e enxofre e diversos micronutrientes como por exemplo o ferro o zinco ou o cobre também fazem parte da composição das lamas.

1.3.2 – Elementos potencialmente tóxicos

Os elementos potencialmente tóxicos incluem os metais pesados e outros elementos inorgânicos que podem ser encontrados nas lamas de depuração (Milieu *et al.*, 2008), havendo igualmente um risco de persistência de microrganismos patogénicos resistentes aos diferentes tratamentos de depuração das lamas.

Quando as lamas são aplicadas no solo, a tendência é para que estes elementos potencialmente tóxicos se acumulem no solo, mais ainda se a aplicação de lamas for repetida ao longo dos anos. Deste modo, existe um risco de que os elementos potencialmente tóxicos se possam acumular em concentrações tais que prejudiquem as culturas, a fertilidade do solo e a própria cadeia alimentar (Milieu *et al.*, 2008). A sua mobilidade e biodisponibilidade para as plantas e microrganismos pode ser influenciada por vários factores, entre os quais o pH que aparece como o mais importante, na medida em que governa em larga medida a solubilidade dos metais pesados e de outras substâncias potencialmente tóxicas no solo.

Os metais pesados encontram-se frequentemente no solo, sendo que a sua origem varia muito, desde a acção humana até à própria deposição atmosférica (Andersen e Sede, 2002). A absorção de metais pesados pelas plantas é um fenómeno corrente. Alguns dos metais pesados são mesmo importantes para a planta, como o cobre e o zinco, fazendo parte da lista dos micronutrientes essenciais no metabolismo e nutrição vegetal. Porém, quando absorvidos em quantidades excessivas, podem também causar problemas de toxicidade.

Os teores de cada metal pesado nas lamas de depuração é muito variável, conforme está apresentado no Quadro 1.3.

Quadro 1.3 - Quantidade de metais pesados presentes nas lamas de depuração.

Elemento	Valores típicos (mg/kg de matéria seca)	
	Intervalo	Valor médio
Cádmio	1-3410	10
Crómio	10-99000	500
Cobalto	11.3-2490	30
Cobre	84-17000	800
Ferro	1000-154000	17000
Chumbo	13-26000	500
Manganês	32-9870	260
Mercúrio	0.6-56	6
Níquel	2-5300	80
Zinco	101-49000	1700

Fonte: Adaptado de (Metcalf e Eddy, 1995)

1.3.3 – Contaminantes orgânicos

É enorme a quantidade de compostos orgânicos que podem estar presentes nas lamas e que portanto também serão adicionados ao solo, passando por diversos

processos de retenção e transporte. No Quadro 1.4 estão descritos os compostos orgânicos contaminantes com maior representação provável nas lamas de depuração.

Quadro 1.4 – Principais compostos orgânicos nas lamas de depuração.

Composto orgânico	Descrição
AOX	compostos organo-halogenados adsorvíveis ou haletos orgânicos adsorvíveis
LAS	alquilo-benzo-sulfonatos lineares
DEHP	ftalato de 2-etilhexilo
NPE	nonilfenóis e nonoilfenóis etoxilados
PAH	hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
PCB	compostos bifenilos policlorados

A lixiviação deste tipo de poluentes parece ter pouco significado ao contrário dos metais pesados, contudo não se deverá deixar de ter em conta tal fenómeno, que está muito relacionado com as propriedades e os compostos do solo (Andersen e Sede, 2002). Os contaminantes orgânicos não são absorvidos pelas plantas, mas existe sempre um risco de contaminação da cadeia alimentar se por acaso as lamas forem espalhadas directamente sobre as culturas, nomeadamente em plantas que não serão cozidas aquando da ingestão. Esta é uma das razões pelas quais é proibido a aplicação de lamas de ETAR em culturas para consumo em fresco.

A ingestão de solo e lamas em terrenos que são utilizados para pastagem é a principal forma de contaminação para os animais. Poderá acontecer a acumulação de PCDD/F, PCB's ou PAH na carne e no leite. Contudo, actualmente ainda não se sabe avaliar as quantidades e os destinos dos compostos ingeridos pelos animais (Andersen e Sede, 2002).

1.3.4 – Microrganismos patogénicos

As lamas que resultam do tratamento de águas residuais contêm uma elevada gama de organismos patogénicos como sejam bactérias, helmintas, protozoários e vírus que, segundo Metcalf e Eddy (1995), são removidos durante o processo de tratamento. Só que esta é uma teoria que por vezes é contrariada ou contestada como é o caso de Böhm (1999), que afirma existir uma variedade de organismos patogénicos que têm capacidade de sobreviver nas lamas bem como no meio ambiente e acarretarem problemas sanitários para animais, plantas e também de saúde pública.

O ser humano, animais e plantas ficam desta forma expostos ao risco de contacto com estes agentes patogénicos quer através da descarga de esgotos quer através da utilização das lamas em terrenos agrícolas (Milieu *et al.*, 2008; Comissão Europeia, 2001). O risco de transmissão para o ser humano, animais ou plantas continua a ser uma grande preocupação para o público que se tem reflectido nas leis de cada país e na redução significativa ou mesmo completa da utilização agrícola das lamas de depuração em alguns países da União Europeia.

A exposição directa é sempre um risco para a saúde daqueles que trabalham nas estações de tratamento ou que fazem a aplicação das lamas no solo. À partida os riscos de contaminação poderão ser considerados baixos, contudo se houver uma falta de higiene ou de equipamento de protecção os riscos podem ser mais elevados (Milieu *et al.*, 2008).

A eficiência de remoção dos agentes patogénicos varia de acordo com a etapa do tratamento a que estão sujeitas as águas residuais. No Quadro 1.5 pode-se constatar esses valores.

Quadro 1.5- Eficiência de remoção de microrganismos nos processos de tratamento.

Microrganismos	Eficiência de remoção no tratamento primário (%)	Eficiência de remoção no tratamento secundário (%)
Coliformes totais	<10	90-99
Coliformes fecais	35	90-99
<i>Shigella sp.</i>	15	91-99
<i>Salmonella sp.</i>	15	96-99
<i>Escherichia coli</i>	15	90-99
Vírus	<10	76-99

Fonte: Adaptado de (Metcalf e Eddy, 1995).

Quanto à remoção deste tipo de organismos nas lamas, esta é feita com recurso a calagem, a digestão anaeróbia, compostagem ou processos térmicos (Metcalf e Eddy, 1995).

Relativamente à sobrevivência destes agentes, esta varia consoante se trate de solo ou das plantas. No Quadro 1.6 encontra-se a relação de sobrevivência dos principais organismos patogénicos quer no solo quer nas plantas.

Quadro 1.6 – Sobrevivência dos organismos patogénicos no solo e nas plantas.

Organismo Patogénico	Solo		Planta	
	Máximo absoluto	Máximo comum	Máximo absoluto	Máximo comum
Bactérias	1 ano	2 meses	6 meses	1 mês
Vírus	6 meses	3 meses	2 meses	1 mês
Protozoários	10 dias	2 dias	5 dias	2 dias
Helminhas	7 anos	2 anos	5 meses	1 mês

Adaptado de (Weao, 2001) *in* (Ekström, 2006).

1.4– Destino final das lamas de depuração

As lamas de depuração, após terem sido devidamente tratadas, podem ser reutilizadas ou então eliminadas de uma forma geral por três vias, nomeadamente a utilização na agricultura, a incineração ou então a deposição em aterro (Andersen e Sede, 2002). Na Europa, sempre que a aplicação das lamas na agricultura é encarada com reservas ou simplesmente proibida, a incineração aparece como a solução mais adoptada. Por sua vez a opção de colocar lamas em aterro está cada vez mais restringida (Milieu *et al.*, 2008).

1.4.1 – Incineração

A incineração é caracterizada por uma reacção de combustão. Esta mesma incineração de lamas pode ser classificada em mono-incineração de lamas quando as lamas são incineradas em instalações destinadas a tal procedimento, em incineração com outros resíduos, ou finalmente co-incineração quando o material é utilizado como combustível na produção de energia (Andersen e Sede, 2002).

Com o processo de incineração são libertadas cinzas, gases e águas residuais, logo para a atmosfera são lançadas partículas, gases ácidos ou compostos orgânicos voláteis. Estas emissões dependem do processo em curso, mas também são influenciadas pelo tipo de lamas (Andersen e Sede, 2002). Naturalmente o funcionamento da fábrica onde se processa a incineração produz poluição, quer seja visual quer seja sonora, mas cujos impactos podem e devem ser controlados.

1.4.2 – Deposição em aterro

Colocar lamas desidratadas em aterro sanitário é segundo Brito (1986) *in* Borges (2001) uma das formas mais rápidas e mais baratas que existe para a eliminação das lamas, contudo a falta de espaço e as consequências que podem aparecer a nível ambiental dificultam cada vez mais o recurso a esta opção. Por outro lado também as políticas europeias apostam cada vez mais numa reciclagem e numa reutilização desincentivando por isso a deposição em aterro, à exceção daqueles resíduos que já não possam ser reciclados (Borges, 2001).

No que concerne ao processo de depositar lamas em aterro pode-se considerar dois modos de depósito: um monodépósito tratando-se de um local onde apenas são depositadas lamas ou então de um depósito misto quando o local em causa recebe para além de lamas também resíduos urbanos.

A operação do aterro gera para a atmosfera gases como metano e dióxido de carbono. Por outro lado também a operação em aterro gera certos impactos como ruído, poeira, odores e perturbações da terra e da paisagem (Andersen e Sede, 2002), pelo que esta solução está a diminuir sendo de prever que a prazo seja definitivamente abandonada.

1.4.3 – Utilização na agricultura

A utilização de lamas na agricultura substituindo o tradicional recurso a adubos inorgânicos, visto que estas têm na sua composição componentes de valor agronómico, é também uma forma de destino final a dar às lamas de depuração. Por outro lado as lamas de depuração quando são lançadas no solo também contribuem para a adição de poluentes ao solo, sendo os metais pesados, pela sua persistência e mobilidade, os que maiores preocupações trazem. Alguns desses poluentes sofrem transformações e podem ser lixiviados, sofrer escoamento, ser absorvidos pelas plantas, volatilizar-se e podem ainda entrar na cadeia alimentar (Andersen e Sede, 2002). Logo, se a aplicação das lamas aos solos agrícolas pode ser encarado como algo que é positivo, também pode acarretar consequências bastante negativas.

1.4.3.1 – Custos internos da reciclagem

1.4.3.1.1 – Custos de processamento do tratamento de lamas

Segundo Milieu *et al.* (2008) todos os Estados Membros têm que fazer um tratamento das lamas de acordo com as normas em vigor. Os principais tipos de tratamento são os seguintes:

- Pilhas de compostagem
- Vasos de compostagem
- Secagem térmica
- Estabilização aeróbia ou anaeróbia termofílica
- Tratamento térmico dos componentes líquidos das lamas
- Condicionamento com cal viva (CaO) ou cal apagada (CaOH₂)

As informações existentes para o custo destes tratamentos são vagas, contudo segundo Milieu *et al.* (2008) as aplicações por exemplo de cal podem variar entre 22 a 160 euros por tonelada de MS.

1.4.3.1.2 – Outros custos afectos à utilização das lamas na agricultura

Existem também outros custos relativos à utilização das lamas na agricultura, como sejam:

- Custos de transporte da estação de tratamento até ao armazenamento;
- Investimentos feitos em armazenamento e custos operacionais;
- Custos com o transporte desde o armazenamento até à exploração agrícola;
- Investimentos feitos com o equipamento de dispersão das lamas;
- Custos com as operações agrícolas no terreno depois de adicionadas as lamas;
- Custos das análises feitas para determinar a qualidade das lamas;
- Custos das análises feitas ao solo;
- Outras despesas de carácter administrativo.

1.4.3.2 – Custos externos da reciclagem

Tanto os seres humanos como o meio ambiente podem ser afectados pela aplicação de lamas de depuração ao solo devido a algum tipo de poluente. No Quadro 1.7 encontram-se alguns dos impactos da aplicação de lamas no solo.

Quadro 1.7 - Impactos da utilização de lamas no solo

Emissões	Impactos
Volatilização de poluentes para o ar	Impactos na saúde humana e degradação dos ecossistemas
Emissões de poluentes para as águas superficiais	Impacto na saúde humana e diminuição da qualidade da água de superfície
Emissões de poluentes para o solo	Impacto na saúde humana, na saúde do gado, degradação dos ecossistemas, redução dos microrganismos do solo, diminuição da qualidade das águas subterrâneas e diminuição do valor do solo
Odores	Aceitação social, impacto na amenidade e agitação pública
Transporte	Emissões de escape devido ao transporte

Fonte: Adaptado de (Andersen e Sede, 2002).

A questão dos impactos das lamas na saúde pública, animal e ambiente é difícil de quantificar, porque tem vários componentes potencialmente prejudiciais cujos efeitos são difíceis de distinguir e são tendencialmente de longo prazo, vêm frequentemente associados a outros, os critérios de risco variam muito de país para país e a percepção pública acerca destas matérias é variável e frequentemente alicerçada em critérios errados.

Em relação à saúde humana, constata-se segundo Milieu *et al.*, (2008) que as pessoas podem ser afectadas de vários modos pelo facto de se aplicarem lamas ao solo. Uma forma possível é através do próprio solo, pois pode haver um contacto com a pele, uma inalação de substâncias voláteis ou então o consumo de alimentos contaminados. Outra forma será através das águas superficiais e subterrâneas se houver a ingestão destas e elas estiverem contaminadas. Uma última forma é a que se prende com a manipulação das lamas por parte dos trabalhadores desta área e pela inalação de partículas ou poluentes pelo próprio público em geral.

No que diz respeito à degradação dos ecossistemas, também existe uma forte possibilidade de esta ocorrer, visto que as lamas comportam na sua composição metais pesados, organismos patogénicos e outros poluentes. Contudo, devido à legislação em

vigor na União Europeia, pensa-se que esta ajude a reduzir a exposição a organismos patogénicos. Também por outro lado a fauna e a flora pode ser contaminada por metais pesados e poluentes orgânicos libertados para o meio ambiente.

1.5 – Valor agrícola das lamas de depuração

Com a aplicação de lamas de depuração ao solo está-se a providenciar nutrientes e matéria orgânica ao solo através de um processo de reciclagem (Milieu *et al.*, 2008). Contudo é sempre necessário que seja feito um acompanhamento técnico e científico para que tenhamos toda a informação necessária sobre os riscos potenciais da sua utilização (Borges, 2001; Rocha, 2002; Espínola, 2004).

As investigações realizadas têm mostrado um maior interesse em saber o valor agrícola das lamas em termos de N e P que ficará disponível para as plantas. Deste modo poderá ser determinado até que ponto os fertilizantes químicos podem ser substituídos por lamas, o que seria potencialmente uma poupança significativa para a agricultura (Milieu *et al.*, 2008). Em virtude da calagem que frequentemente é efectuada no processamento das lamas, os valores de Ca e pH próximo da neutralidade são também muito valorizados.

1.6 – Riscos actuais para a saúde humana e o meio ambiente

Riscos correntes para a saúde humana e também para o meio ambiente relacionados com a utilização das lamas de depuração na agricultura não têm sido relatados cientificamente desde que a legislação referente a este tema entrou em vigor. No entanto revela-se difícil perceber se tal situação se deve ao risco mínimo que a legislação porventura conseguiu acautelar, se práticas mais restritivas do que a legislação têm sido eficazes (Milieu *et al.*, 2008) ou se existe efectivamente um problema de saúde e ambiental mas que ainda não foi reportado.

A existência de organismos patogénicos para os humanos nas lamas de depuração tem feito com que se façam pesquisas para avaliar os riscos de saúde que podem decorrer da aplicação de lamas no solo. Normalmente encontra-se mais referenciado na bibliografia que existem preocupações sobre isso do que propriamente resultados concretos. Em termos de outros impactos para a saúde como a exposição a compostos

orgânicos presentes nas lamas aplicadas no solo, também não se relatam efeitos adversos para a saúde.

Relativamente aos riscos ambientais, os que maiores preocupações trazem são a lixiviação de nutrientes, emissões de gases de estufa como metano e óxido nitroso e perturbações na biodiversidade.

Quanto a outras preocupações públicas aparece por exemplo a questão dos odores que estão relacionados com as lamas e que podem criar problemas de não aceitação pela população, pois os odores são um sinal que substâncias prejudiciais podem estar presentes (Milieu *et al.*, 2008).

1.7 – Legislação

A legislação para a utilização de lamas de depuração na agricultura nasce a nível comunitário através da Directiva 86/278/CEE do Conselho de 12 de Junho. Portugal transpôs posteriormente para a ordem jurídica interna esta directiva europeia através do Decreto-Lei nº446/91 de 22 de Novembro. Mais tarde aparece o Decreto-Lei nº 118/2006 de 21 de Junho que revoga o anterior e por fim ainda mais recentemente esta temática volta a ser alvo de correcção legislativa através do Decreto-Lei nº 276/2009 de 2 de Outubro, permanecendo em vigor até à presente data.

Este Decreto-Lei do Governo e segundo o seu artigo 30º, diz que esta legislação também se aplica às Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, embora salvaguardando que o mesmo pudesse ser adaptado ao abrigo da autonomia político-administrativa das Regiões Autónomas. Deste modo nos Açores, encontra-se em vigor actualmente o Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de Outubro, que diz respeito ao regime jurídico da recolha, tratamento e descarga de águas residuais urbanas.

Este Decreto Legislativo Regional é criado primordialmente para transpor para o direito regional a Directiva Europeia 91/271/CEE do Conselho de 21 de Maio relativa ao tratamento de águas residuais urbanas. Contudo, por forma a não dispersar a legislação, é incorporado no Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de Outubro também a matéria constante no Decreto Legislativo Regional nº 16/2005/A de 20 de Julho que transpôs a Directiva 86/278/CEE do Conselho de 12 de Junho, alterado pela Directiva nº 91/692/CEE do Conselho de 23 de Dezembro e pelo Regulamento

(CE) nº 807/2003 do Conselho de 14 de Abril relativa à utilização agrícola de lamas de depuração. Deste modo nos Açores existe num único diploma legislativo as matérias referentes ao tratamento de águas residuais urbanas e à utilização de lamas de depuração na agricultura.

Fazendo uma análise ao capítulo V do Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de Outubro, que é o capítulo relativo à rejeição e reutilização das lamas de depuração, constata-se que a rejeição de lamas está sujeita a uma autorização da entidade licenciadora e deve incentivar metodologias que minimizem os efeitos nocivos no meio ambiente. As lamas não tratadas ou as que sendo tratadas excedam o valor limite de concentração de metais pesados ou de compostos orgânicos e dioxinas em lamas destinadas à agricultura devem ser encaminhados para destino final adequado. É também proibida a rejeição de lamas de qualquer natureza que viole as normas legais aplicáveis à gestão de resíduos.

No que diz respeito à injeção e ao enterramento de lamas estes são procedimentos à partida proibidos. Excepção feita quando se trate de procedimentos realizados em contexto de deposição de resíduos em aterro. Contudo, se forem verificadas uma série de condições, o enterramento e a injeção de lamas tratadas pode ser autorizado pela entidade licenciadora. As condições são:

- i) Operação feita dentro do contexto de uma prática agrícola ou agro-florestal e tenha como objectivo melhorar a fertilidade ou as condições agronómicas do solo;
- ii) Fique comprovado que é a melhor opção técnica e económica no conjunto das alternativas;
- iii) Sejam cumpridas as normas impostas pelos regulamentos;
- iv) Esteja assegurado que tal prática não terá impactos inaceitáveis na qualidade das águas superficiais e subterrâneas ou ainda sobre a qualidade do solo;

De modo excepcional a entidade licenciadora pode autorizar o enterramento de lamas tratadas ou não tratadas quando se verifique uma das seguintes condições:

- i) Esteja em perigo a salubridade e a saúde públicas e então por isso se considere o enterramento como a melhor solução técnica para eliminar ou mitigar o risco;
- ii) Em situações de emergência ou catástrofe que levem a uma interrupção do normal funcionamento das estruturas de tratamento;

Quanto a utilização de lamas em solos agrícolas, apenas podem ser utilizadas lamas tratadas, que quando incorporadas no solo cumpram cumulativamente todos os valores limite para os parâmetros fixados. (Ver Quadros 1.8 a 1.12). As lamas devem ser

preferencialmente utilizadas em solos profundos bem desenvolvidos tendo em atenção as necessidades nutricionais da planta de forma a não comprometer nem a qualidade do solo nem das águas. As lamas devem ser incorporadas no solo no máximo dentro de dois dias após terem sido espalhadas no terreno.

No que concerne ao volume de lamas utilizável, 6 ton MS/ha é a quantidade máxima utilizável anualmente. No entanto pode ser utilizada uma quantidade superior, quando face ao valor da concentração de metais pesados, não sejam ultrapassados os valores limite para as quantidades anuais de metais pesados que podem ser introduzidos num solo cultivado. (Quadro 1.10). O contrário também se aplica, isto é, poderá ser aplicado um volume inferior se as concentrações de metais pesados assim o exigirem.

Quadro 1.8 - Valores limite de concentração de metais pesados no solo receptor.

Parâmetros	Valores limite (em mg/kg de matéria seca) para solos		
	pH ≤ 6.0	6.0 < pH ≤ 7.0	pH ≥ 7.0
Cádmio (Cd)	1	3	4
Cobre (Cu)	50	100	200
Níquel (Ni)	30	75	110
Chumbo (Pb)	50	300	450
Zinco (Zn)	150	300	450
Mercúrio (Hg)	1.0	1.5	2.0
Crómio (Cr)	50	200	300

Fonte: Adaptado de Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de Outubro.

Quadro 1.9 - Valores limite de concentração de metais pesados nas lamas de depuração destinadas à agricultura.

Parâmetros	Valor limite (em mg/kg de matéria seca)
Cádmio (Cd)	20
Cobre (Cu)	1000
Níquel (Ni)	300
Chumbo (Pb)	750
Zinco (Zn)	2500
Mercúrio (Hg)	16
Crómio (Cr)	1000

Fonte: Adaptado de Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de Outubro.

Quadro 1.10 - Valores limite para as quantidades anuais de metais pesados que podem ser introduzidas nos solos cultivados (média de 10 anos).

Parâmetros	Valor limite (kg/ha/ano)
Cádmio (Cd)	0.15
Cobre (Cu)	12
Níquel (Ni)	3
Chumbo (Pb)	15
Zinco (Zn)	30
Mercúrio (Hg)	0.1
Crómio (Cr)	4.5

Fonte: Adaptado de Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de Outubro.

Quadro 1.11 - Valores limite de concentração de compostos orgânicos nas lamas destinadas à agricultura.

Parâmetros	Valor limite (em mg/kg de matéria seca)
AOX	500
LAS	2600
DEHP	100
NPE	50
PAH	6
PCB	0.8

Fonte: Adaptado de Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de Outubro.

Quadro 1.12 - Valores limite de concentração de dioxinas nas lamas destinadas à agricultura

Parâmetros	Valor limite (ng TE/kg de matéria seca) *
PCDD/F	100

Fonte: Adaptado de Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de Outubro.

* Valor expresso em equivalentes de 2, 3, 7, 8-tetraclorodibenzeno-p-dioxina (TCDD).

A realização de análise quer às lamas quer ao solo receptor é obrigatória. Os parâmetros a analisar são os que se encontram no Anexo I.

A proibição de utilização de lamas também pode ocorrer se:

i) A concentração de um ou mais metais pesados no solo seja superior ao valor limite fixado;

ii) A concentração de um ou mais metais pesados na lama ultrapasse os valores limite ;

iii) As quantidades de metais pesados fornecidos ao solo, por unidade de superfície, num período médio de dez anos, ultrapasse os valores limite;

iv) A concentração de um ou mais compostos orgânicos, incluindo as dioxinas, nas lamas das ETAR's urbanas que recebam águas residuais de outras origens para além da doméstica ultrapasse os valores limite dos parâmetros fixados nos quadros 1.11 e 1.12.

É proibida a entrega ou utilização de lamas:

i) Em pastagens ou culturas forrageiras dentro das três semanas que antecedem o pastoreio do gado ou a colheita da cultura forrageira,

ii) Em culturas hortícolas e frutícolas durante o período vegetativo, à excepção das árvores de fruto e videiras;

iii) Em solos destinados a culturas hortícolas e frutícolas que estejam normalmente em contacto directo com o solo e que se destinem a ser consumidas em cru durante um período de dez meses antes da colheita e durante a colheita;

iv) Em solos para produção biológica.

Em termos de zonas de protecção, a utilização de lamas fica interdita nas seguintes situações:

i) Numa faixa de 50m do terreno no caso de margens das águas do mar;

ii) Numa faixa de 30m do terreno no caso de margens de lagoas;

iii) Numa faixa de 10m do terreno no caso das margens de cursos de água de qualquer natureza;

É ainda proibida a utilização de lamas debaixo de condições atmosféricas adversas, nomeadamente precipitação forte.

Em relação às zonas de separação fica também interdita a utilização superficial de lamas:

i) Numa faixa de 200m quando esteja junto a povoações, escolas ou outras zonas de interesse público;

ii) Numa faixa de 150m quando esteja próximo de zonas de captação de água destinada a consumo humano;

iii) Numa faixa de 100m quando esteja junto a habitações isoladas;

iv) Numa faixa de 60m quando esteja próximo a poços ou furos.

Finalmente todo este processo de aplicação de lamas fica sujeito a licenciamento, ou seja, todo um processo de cariz mais administrativo. Esta matéria consta dos artigos 51º, 52º e 53º do diploma legislativo em questão.

CAPÍTULO 2

ENSAIO EXPERIMENTAL DE APLICAÇÃO DE LAMAS NA CULTURA DE MILHO

2.1 - Material e Métodos

2.1.1 – Cultivar de milho ensaiada e caracterização do local

Para este estudo recorreu-se à cultivar *Fortius* da Northrup King, um milho híbrido simples FAO 440 para produção de forragem. Estes ensaios foram realizados na granja da Universidade dos Açores, que se situa aproximadamente a 400 m de altitude na Ilha Terceira, na zona da Achada e que é uma importante zona de pastagem permanente e de produção leiteira. Nesta exploração é praticada uma rotação de milho (um ano) com pastagem permanente à base de *Lolium perenne* L. e *Trifolium repens* L., sendo que esta tem uma duração frequentemente superior a 10 anos. Todo o milho que é produzido é colhido para silagem e para consumo dos animais desta exploração.

2.1.2 – Delineamento do ensaio

Em 2010 foi escolhida uma parcela de terreno na Granja Universitária com 2,9 hectares dos quais cerca de 1,1 hectares foram destinados ao ensaio. Fez-se a divisão do terreno em talhões com uma área de 332,2 m². Em 2011 foi escolhida outra parcela de terreno com 1,9 hectares, dos quais 0,9 hectares foram destinados ao ensaio. Os talhões para cada tratamento tiveram 249 m².

As modalidades ensaiadas foram de: 12, 24 e 36 ton/ha de lamas que sofreram apenas uma calagem e suplementadas com adubação de fundo em K (designadas por lamas 12, 24 e 36 ton 1C); 12, 24 e 36 ton/ha de lamas que sofreram duas calagens e suplementadas com adubação de fundo em K (designadas por lamas 12, 24 e 36 ton 2C); controlos com adubação de fundo em NPK (designado NPK) e só com adubação K (designado K).

O delineamento utilizado foi o modelo completamente casualizado com quatro repetições. Quando na análise de variância se determinou haver diferenças significativas, fez-se a comparação de médias pelo teste T múltiplo de Tukey.

2.1.3 – Características das lamas

As lamas utilizadas neste ensaio foram obtidas da ETAR dos Serviços Municipalizados de Angra do Heroísmo em 2010 e 2011. O método de tratamento das águas residuais e das lamas tem a seguinte sequência:

- A – Gradagem;
- B – Desarenador;
- C – Decantadores;
- D – Tanque de homogeneização;
- E – Leitões percoladores;
- F – Decantador intermédio e final;
- G – Estação elevatória de lamas primárias;
- H – Estação elevatória de lamas secundárias e recirculação;
- I – Digestor anaeróbio de lamas com correcção de pH pelo menos a 7.5 com CaOH_2 ;
- J – Digestor secundário com espessamento;
- L – Desidratação de lamas, seguida da qual se poderá fazer uma segunda correcção de pH pelo menos a 8.5 também com CaOH_2 .

As etapas de A a F correspondem a etapas da fase líquida de tratamento, enquanto que as etapas de G a L correspondem à fase sólida de tratamento.

Ensaíram-se dois tipos de lamas: a) as que apenas sofreram a calagem na etapa I, que doravante se designarão de lamas com uma calagem; b) as que sofreram uma segunda calagem na etapa L, que doravante se designarão de lamas com duas calagens. As lamas com uma calagem são as que normalmente são produzidas nesta ETAR, sendo

que as que sofreram uma segunda calagem foram produzidas especificamente para este ensaio.

As amostras para análise foram colhidas dos vários lotes de lamas entregues no local de ensaio. Optou-se por fazer uma amostra composta de cada modalidade em cada ano. As análises químicas, físicas e microbiológicas efectuadas a estas lamas efectivaram-se em laboratórios contratados para o efeito, nomeadamente a Agroleico, Laboratórios de Análises Químicas e Bacteriológicas, Lda. em 2010, e pelo INOVA, Instituto de Inovação Tecnológica dos Açores em 2011. Os métodos utilizados na análise das lamas são os que decorrem da legislação, sendo nomeadamente exigido para a determinação dos metais pesados que a digestão seja feita com água régia e que o método de referência para a quantificação seja a espectrofotometria de absorção atómica. Os valores determinados foram expressos em relação à matéria seca. No Quadro 2.1 encontram-se os parâmetros analisados e os respectivos métodos utilizados.

Quadro 2.1 – Métodos de análise utilizados em cada parâmetro das lamas.

	Métodos	
	2010	2011
MS total	EN 12880 (ME-102)	EN 12880
Carbono orgânico total	IR	M.M 8.6
Matéria orgânica	EN 12879 (ME-672)	EN 12879
pH	ME-473	EPA 9045 D:2002
Azoto total	ME-515	M.M 8.6
Azoto amoniacal	ME-63	SMEWW 4500 NH3
Fósforo total	Absorção Molecular-EN 13346	SMEWW 3120:2005
Potássio	Absorção Atómica-ME-334	-----
Cálcio	Absorção Atómica-ME-335	SMEWW 3120:2005
Magnésio	Absorção Atómica-ME-336	SMEWW 3120:2005
Cádmio	Absorção Atómica-EN 13346	SMEWW 3120:2005
Chumbo	Absorção Atómica-EN 13346	SMEWW 3120:2005
Zinco	Absorção Atómica-EN 13346	SMEWW 3120:2005
Mercúrio	DMA (ME-474)	M.M 5.3
Pesquisa de Salmonela	ISO 6579:2002 (ME-11)	ISO 6579:2002
Pesquisa de ovos parasitas intestinais	ME-349	MI 30 (SMEWW 10550)
E. coli	-----	PT 57

EN – Norma Europeia; M.M – Método interno do laboratório de análises do Instituto Superior Técnico; EPA – Environmental Protection Agency; SMEWW – Standard

Methods for the Examination of Water and Wastewater; ISO – International Organization for Standardization; PT – Procedimento técnico do INOVA.

2.1.4 – Análises químicas dos solos

Foram feitas análises com dois objectivos: a) determinação dos níveis de metais pesados antes dos ensaios, com vista a averiguar a possibilidade de aplicação das lamas, conforme estipulado no DLR 18/2009/A; b) determinação dos níveis de fertilidade do solo antes e depois dos ensaios.

Para a determinação dos metais pesados colheram-se amostras compostas de solo das parcelas de terrenos onde se pretendia fazer os ensaios com a antecedência de três meses. Os métodos de análise foram os que constam no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Métodos de análise utilizados em cada parâmetro do solo.

	Métodos	
	2010	2011
Cádmio	ISO 11466 e 11046	ISO 11047:1998
Chumbo	ISO 11466 e 11046	ISO 11047:1998
Cobre	ISO 11466 e 11046	ISO 11047:1998
Crómio	ISO 11466 e 11046	ISO 11047:1998
Mercúrio	DMA (ME-474)	PT-EAA
Níquel	ISO 11466 e 11046	ISO 11047:1998
Zinco	EN 13346	ISO 11047:1998

ISO – International Organization for Standardization; PT – Procedimento técnico do INOVA; EN – Norma Europeia;

Só após a confirmação de que nenhum dos metais pesados se encontrava em níveis superiores ao estipulado pelo DLR 18/2009/A é que se decidiu pela realização dos ensaios nessas parcelas. Este procedimento foi realizado nos dois anos de ensaios. Estas análises foram efectuadas no Agroleico - Laboratórios de Análises Químicas e Bacteriológicas, Lda. no ano de 2010, e pelo INOVA, Instituto de Inovação Tecnológica dos Açores no ano de 2011.

Para a determinação da fertilidade dos solos, procedeu-se à recolha de amostras compostas em todos os talhões antes da aplicação das lamas e depois da produção do milho em cada ano de ensaios. Os parâmetros avaliados foram:

- MO, determinada pelo método de calcinação.
- P, determinado pelo Método de Olsen.
- K, determinado por extracção com acetato de amónia e medição por absorção atómica.
- Ca, determinado por extracção com acetato de amónia e medição por absorção atómica.
- Mg, determinado por extracção com acetato de amónia e medição por absorção atómica
- pH em água.

Todos estes parâmetros aqui descritos, para determinação da fertilidade dos solos, foram determinados no Laboratório de Solos e Nutrição Vegetal da Universidade dos Açores no ano de 2010 e 2011. Os valores foram determinados em relação à matéria seca.

2.1.5 – Operações agrícolas

A aplicação das lamas nos talhões seguiu o delineamento de ensaios estabelecido (Figura 2.1); devido à limitada dimensão dos talhões, a distribuição das lamas efectuou-se de forma manual, o que levou a que estas ainda formassem alguns torrões no fim dos ensaios, o que quer dizer que a sua mistura no solo não foi homogénea como teria sido se fossem distribuídas mecanicamente. Este facto verificou-se nos dois anos de ensaios em todos os talhões onde se aplicaram lamas.

A sementeira do milho foi efectuada com semeador pneumático de precisão, a uma densidade de 113122 sementes por hectare (13 x 68 cm) (Figura 2.2). A fertilização de fundo foi feita simultaneamente com a sementeira, excepto no controlo NPK. Tanto no controlo K como nos talhões em que se aplicou as lamas, fez-se a aplicação de 143Kg/ha de K com cloreto de potássio. Nos talhões de controlo NPK recorreu-se ao adubo ternário 7:12:24, aplicando-se 50Kg N/ha, 38Kg P/ha e 143Kg K/ha três a quatro semanas após a sementeira.

O controlo das infestantes foi feito com recurso a herbicida de pós-emergência à base de foramsulfurão e isoxadifene-etilo.

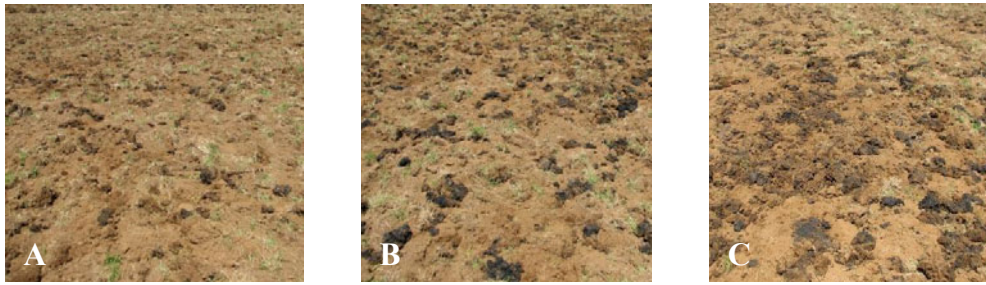


Figura 2.1 - Aspecto da dispersão das lamas no solo nas três modalidades testadas. A) 12ton/ha; B) 24ton/ha; C) 36ton/ha.



Figura 2.2 - Sementeira de precisão.

2.1.6 – Determinação da produtividade

Com o objectivo de determinar a produtividade da cultura nas diferentes modalidades ensaiadas, foram efectuadas determinações de peso fresco das plantas colhidas em áreas de 5.36 m² (2010) ou 10.72 m² (2011), sendo que a percentagem de matéria seca total e de matéria seca em grão foi determinada de uma amostra de duas plantas que foram pesadas logo no dia da colheita e posteriormente, após secagem a 50°C, passados trinta dias (Figura 2.3).



Figura 2.3 - A) Corte de plantas no campo; B) Determinação de MS total e C) Determinação de MS em grão.

2.2 - Resultados e Discussão

2.2.1 – Características das lamas

As lamas utilizadas no ensaio experimental foram submetidas a análise laboratorial, conforme está descrito no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 - Resultados das análises efectuadas às lamas utilizadas no ensaio de 2010 e de 2011.

Parâmetro	Análises às lamas			
	Lamas 1C		Lamas 2C	
	2010	2011	2010	2011
MS total	20,9%	14,0%	15,3%	15,0%
Carbono orgânico total	30,6%	41,0%	35,9%	38,0%
Matéria orgânica	57,4%	65,0%	54,2%	59,0%
pH	8,2	7,8	8,6	8,2
Azoto total	41,6 g/kg	39,0 g/kg	39,9 g/kg	50,0 g/kg
Azoto amoniacal	2,5 g/kg	6,9 g/kg	4,8 g/kg	8,0 g/kg
Razão C:N	7,4	10,5	9,0	7,6
Fósforo total	20,3 g/kg	22,0 g/kg	19,7 g/kg	18,0 g/kg
Potássio	1,7 g/kg	-----	1,6 g/kg	-----
Cálcio	42 g/kg	37 g/kg	67 g/kg	55 g/kg
Magnésio	2,1 g/kg	3,3 g/kg	2,0 g/kg	3,1 g/kg
Cádmio	1 mg/kg	<4 mg/kg	1 mg/kg	<4 mg/kg
Chumbo	75 mg/kg	88 mg/kg	72 mg/kg	74 mg/kg
Zinco	1,2 g/kg	1,5 g/kg	1,2 g/kg	1,4 g/kg
Mercúrio	1,9 mg/kg	1,7 mg/kg	2,1 mg/kg	1,6 mg/kg
Pesquisa de Salmonela	Ausente (50 g)	Ausente (1 g)	Ausente (50 g)	Ausente (1 g)
Pesquisa de ovos parasitas intestinais	Presente (1 g)	Ausente (1 g)	Presente (1 g)	Ausente (1 g)
<i>E. coli</i>	-----	160ufc/g	-----	440ufc/g

Lamas 1C: lamas com uma calagem; **Lamas 2C:** lamas com duas calagens; **ufc:** unidades formadoras de colónias.

Destas análises há que salientar vários aspectos:

- 1) pH: tanto na primeira calagem, como na segunda, o objectivo da correcção do pH não foi integralmente cumprido; no caso da primeira calagem, pretendia-se atingir valores na ordem de 9 a 10 (conforme informação prestada pelos SMAH, medindo-se tais valores imediatamente após a aplicação de CaOH_2), mas na prática apenas se atingiu valores aproximados de 8; na segunda calagem, pretendia-se atingir um pH 11 a 12, mas a prazo essas ficaram com um pH de aproximadamente 8.5. Estes dados revelam que a acção correctora pela adição de CaOH_2 é pouco eficiente, fazendo supor que esta reacção da cal com um ou mais constituintes das lamas faz com que a curto prazo o seu poder alcalinizante seja significativamente reduzido. De notar que esta é uma situação que se observou nos dois anos.
- 2) Os valores de azoto total são relativamente altos, na ordem de 4 a 5% na base seca. Esses dados revelam também que a relação C:N é baixa ($\leq 10,5\%$), pelo que nos faz supor que as lamas devem mineralizar-se de forma significativa nos solos. Porém, como a maioria do azoto encontra-se na forma orgânica, é de esperar uma libertação gradual deste nutriente mas que praticamente todo virá a ficar disponível às plantas a prazo, dependendo das condições ambientais em que for aplicado.
- 3) Os valores de fósforo variam pouco nas lamas com a calagem suplementar, com tendência de redução quando se recorre a esta. É possível que haja reacção do fósforo com o cálcio, levando à formação de precipitados à base de fosfato de cálcio que leve a determinações do fósforo total mais baixas do que quando se faz a segunda calagem.
- 4) Um parâmetro também importante de referir é o facto de que as lamas de depuração são muito pobres em potássio, pelo que, quando aplicadas, deverá ser necessário suplementar a adição deste nutriente, se vier a verificar haver carência.
- 5) A segunda calagem tem um efeito significativo no teor de cálcio das lamas, levando a acréscimos de 59,5% e 48,6% em 2010 e 2011, respectivamente.
- 6) O teor de metais pesados, em caso algum, ultrapassou os limites legais para a aplicação destas lamas na agricultura (DLR nº 18/2009/A de 19 de Outubro). Estes valores são consistentes com outras determinações feitas nos últimos seis anos em lamas desta mesma ETAR, o que provavelmente

admirá da baixa incidência de indústrias altamente poluidoras que normalmente são causadoras de níveis elevados desses elementos.

- 7) Os níveis de *Salmonella* sp. e *Escherichia* sp. são nulos ou muito baixos, o que revela que estas lamas sofrem uma desinfecção bacteriana importante, provavelmente devido às calagens. Esta desinfecção não elimina todos os riscos com a sua utilização, mas diminui de forma significativa, sendo um factor a ter em conta na sua utilização. Paradoxalmente, os níveis de *Escherichia* são mais altos nas lamas que sofreram a segunda calagem, facto esse que não conseguimos explicar, a não ser por uma qualquer influência não ponderada na manipulação deste material.

2.2.2 – Características dos solos

Fizeram-se preliminarmente determinações dos níveis de metais pesados nos solos das parcelas onde se planeou fazer os ensaios. Em ambos os anos verificou-se que, para os níveis de pH existentes, nenhum dos solos oferecia qualquer limitação à aplicação das lamas, conforme consta nos Quadros 1.8 e 2.4.

Quadro 2.4 - Resultados das análises efectuadas ao solo receptor das lamas do ensaio de 2010 e de 2011.

Parâmetros	Solo receptor	
	2010	2011
pH	6	5.5
Cádmio	<1 mg/kg	0,1 mg/kg
Cobre	<10 mg/kg	0,5 mg/kg
Níquel	<10 mg/kg	1,6 mg/kg
Chumbo	<10 mg/kg	0,3 mg/kg
Zinco	34 mg/kg	33,3 mg/kg
Mercúrio total	0,12 mg/kg	0,1 mg/kg
Crómio	10 mg/kg	7,8 mg/kg

2.2.3 – Análise da produtividade

No que concerne à produtividade da cultura nas condições ensaiadas, foram determinadas a produção de matéria seca total e produção de grão, quer para 2010 quer para 2011.

2.2.3.1 - Produtividade da matéria seca total

Em relação à produtividade de matéria seca total no primeiro ano de ensaio verifica-se que a simples aplicação de lamas, independentemente da quantidade utilizada, foi um factor claramente positivo na produtividade da cultura, comparando com as fertilizações minerais (Figura 2.4), embora pela análise de variância não tenham resultado diferenças significativas ($p = 0,4$). Houve efectivamente uma elevada variabilidade da produtividade nas modalidades ensaiadas, o que se deveu em parte à variabilidade do terreno, mas também devido a um problema de acama das plantas devido a condições meteorológicas desfavoráveis que ocorreram na segunda quinzena de Agosto de 2010. O delineamento do ensaio visava acautelar esta situação, mas que mesmo assim não obistou a essa restrição.

É importante ressaltar que em termos globais os valores de produtividade neste primeiro ano são anormalmente baixos, sendo que o valor mais elevado nem chega a 11000 kg/ha. Tal fica-se a dever em grande parte a três factores principais: a) a sementeira foi relativamente tardia, pelo que a cultura estava num estágio de desenvolvimento pouco adiantado no acto da colheita (estádio R4, Ritchie et al. 1993); b) a cultura do milho sofreu a acama de forma muito generalizada provavelmente quando as plantas estavam no estágio R2; c) optou-se por não fazer a adubação de cobertura em qualquer das modalidades ensaiadas, de forma a poder-se comparar mais eficazmente as modalidades ensaiadas.

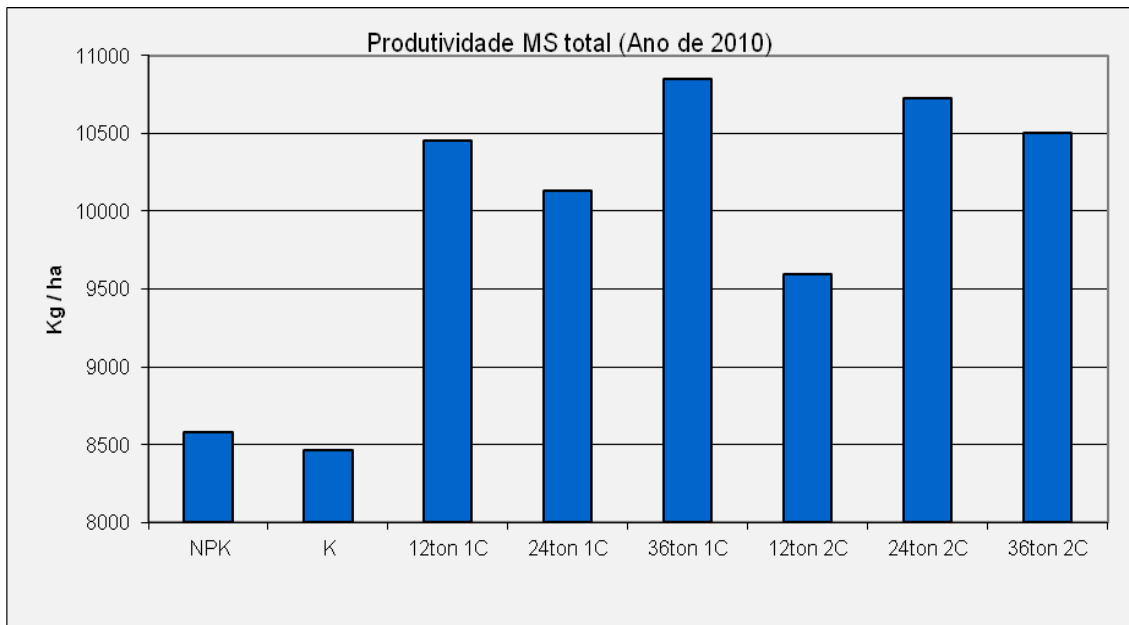


Figura 2.4 - Valores médios de produtividade de MS total nas diferentes modalidades no ano de 2010.

No que concerne ao segundo ano de ensaio mais uma vez os valores de produtividade são superiores quando se aplicam lamas, mesmo que tenha havido uma aproximação dos valores obtidos nos controlos a estas modalidades (Figura 2.5). As diferenças neste segundo ano são significativas entre tratamentos ($p = 0,02$), nomeadamente entre os dois controlos e a modalidade 24ton/ha de lamas com uma calagem. Os valores de produtividade já se aproximam mais dos que seriam de esperar para a produção de um milho FAO 400 (Monjardino, 1993), tendo variado entre 12836 e 15729 kg/ha de MS. Podem existir muitos factores para os valores de produtividade terem melhorado neste segundo ano, sendo de destacar dois que são os mesmos que já haviam sido referidos para 2010 só que em sentido contrário: como a sementeira foi realizada mais cedo, as plantas foram colhidas no estágio R5, e a ocorrência de acama ter sido marginal.

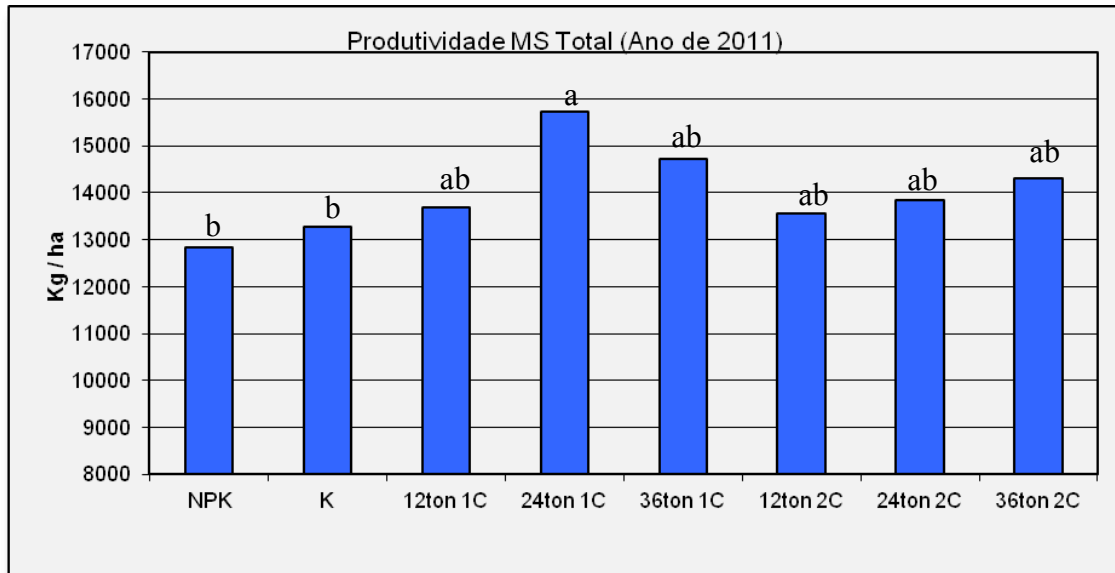


Figura 2.5 - Valores médios de produtividade de MS total nas diferentes modalidades no ano de 2011.

2.2.3.2 - Produtividade de grão em matéria seca

Em relação à produtividade de grão os valores tendem de forma relativa a acompanhar aquilo que se verificou para a matéria seca total. Sendo assim, as produções de grão são mais elevadas nos tratamentos em que foram aplicadas lamas, notando-se mais essa diferença em 2010, apesar das diferenças não serem significativas ($p = 0,5$). Os valores de produtividade de grão em 2010, tal como já tinha acontecido com a matéria seca total, são muito baixos, visto que a produtividade mais elevada ronda apenas os 3600 kg/ha (Figura 2.6).

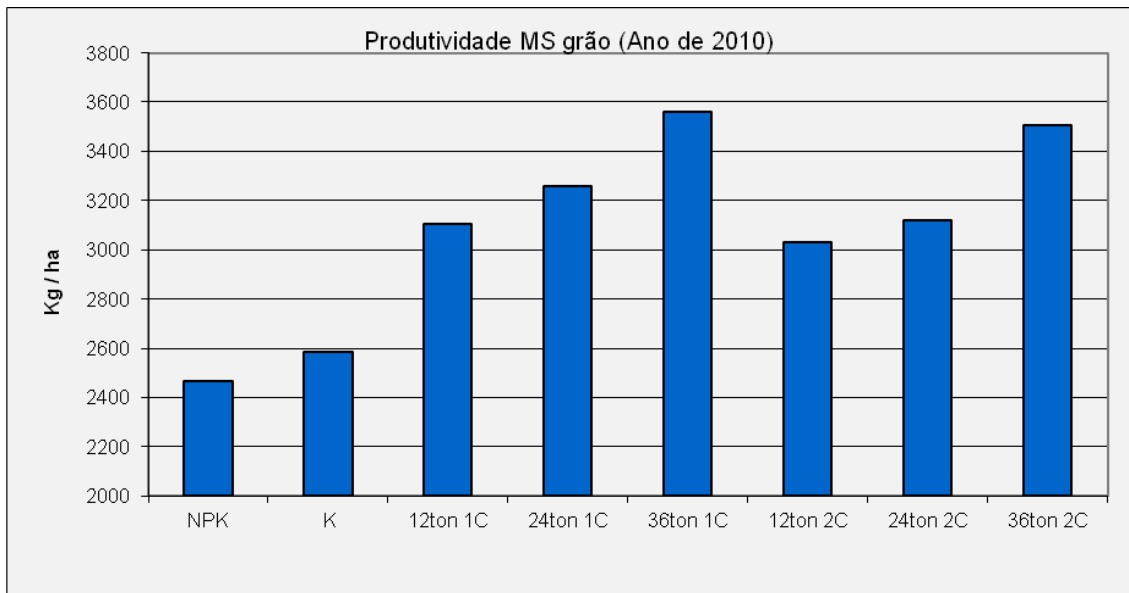


Figura 2.6 - Valores médios de produtividade de MS grão nas diferentes modalidades no ano de 2010.

No que se refere a 2011 temos mais uma vez maiores produções quando se aplicam lamas independentemente da quantidade (Figura 2.7). Os valores de produtividade rondaram os 7000 kg/ha, que é um valor esperado para uma cultivar de ciclo curto como a que foi ensaiada em condições de sequeiro e relativa baixa luminosidade (Monjardino, 1993).

O índice de colheita variou muito entre os dois anos de ensaios. Enquanto que em média, em 2010, foi de 31%, em 2011 foi de 49%. Qualquer um destes valores é mais baixo do que o que foi registado em anteriores ensaios (Monjardino, 1993), sendo o índice obtido em 2010 extraordinariamente baixo. As causas desta importante diferença não foram determinadas, mas provavelmente a ocorrência da acama generalizada em 2010 em plena fase de crescimento do grão (R2 a R4) e a colheita precoce das plantas (R4) deverão ter contribuído de forma significativa para o sucedido.

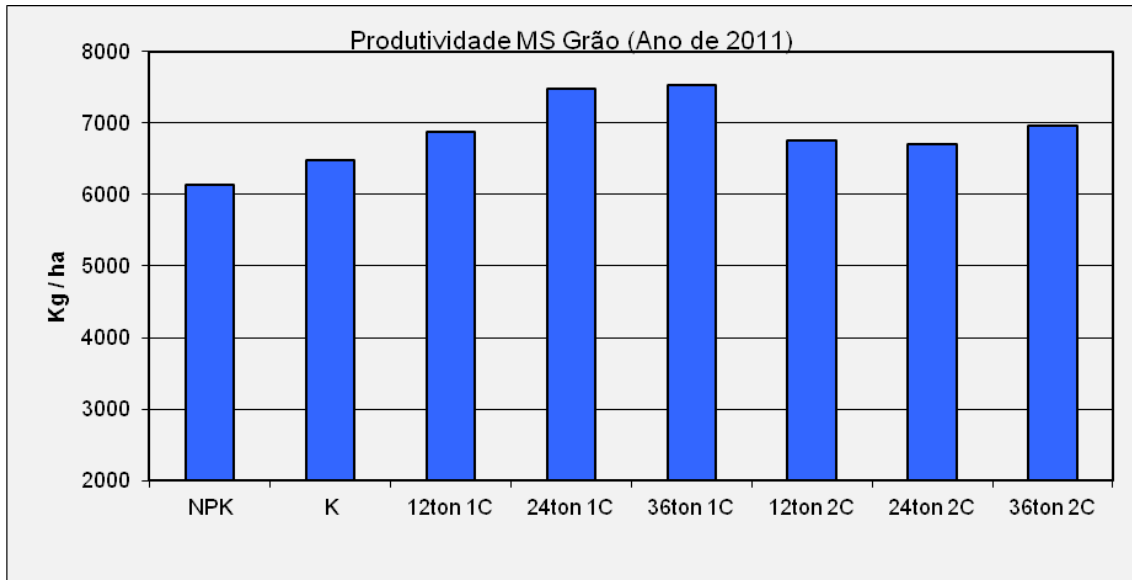


Figura 2.7 - Valores médios de produtividade de MS grão nas diferentes modalidades no ano de 2011.

Vários factores poderão explicar o facto da produtividade ser maior nos tratamentos com lamas relativamente aos controlos, sendo um deles o facto de haver uma disponibilização de maiores quantidades de nutrientes, de estes serem libertados de uma forma mais gradual e de poder haver uma correcção do pH do solo. De seguida apresenta-se a análise da fertilidade dos solos nos dois anos de ensaios.

2.2.4- Níveis de fertilidade do solo

A fertilidade do solo foi avaliada antes da aplicação das lamas e depois da colheita da cultura. Também foi determinada a forma como esses parâmetros analisados variaram. Os valores de 2010 e de 2011 estão descritos nos Quadros 2.5 a 2.10.

2.2.4.1 - pH

O efeito da aplicação das lamas no pH do solo foi reduzido, mas mesmo assim foi diferente nos dois anos de ensaio. Enquanto que em 2010 todos os talhões em que se aplicou as lamas viram o seu pH aumentado no fim do ensaio, em 2011 deu-se maioritariamente o contrário (Quadro 2.5). Há que notar que a tendência de acréscimo e decréscimo do pH também se verificou nos controlos, pelo que não podemos atribuir de forma clara às lamas a responsabilidade de tal variação.

Quadro 2.5 - Valores médios e desvio padrão de pH antes e depois da aplicação de lamas e respectiva variação para 2010 e 2011.

Modalidade ensaiada		pH (2010)	<i>p</i>	Δ pH	pH (2011)	<i>p</i>	Δ pH
NPK	Antes	4,8 ± 0,2	0,2	0,2	5,2 ± 0,1	0,4	-0,1
	Depois	5,0 ± 0,1			5,1 ± 0,2		
K	Antes	4,8 ± 0,2	0,2	0,2	5,3 ± 0,1	0,8	0
	Depois	5,0 ± 0,1			5,2 ± 0,2		
12 ton Lamas 1C	Antes	4,9 ± 0,1	0,3	0,1	5,2 ± 0,1	0,4	-0,1
	Depois	5,0 ± 0,1			5,1 ± 0,1		
24 ton Lamas 1C	Antes	4,8 ± 0,1	0,1	0,1	5,3 ± 0,2	0,3	-0,2
	Depois	5,0 ± 0,1			5,1 ± 0,2		
36 ton Lamas 1C	Antes	4,8 ± 0,2	0,2	0,3	5,2 ± 0,1	0,2	-0,2
	Depois	5,1 ± 0,3			5,0 ± 0,2		
12 ton Lamas 2C	Antes	4,8 ± 0,1	0,07	0,2	5,2 ± 0,2	0,7	-0,1
	Depois	5,0 ± 0,1			5,1 ± 0,2		
24 ton Lamas 2C	Antes	4,8 ± 0,0	0,01	0,2	5,2 ± 0,1	0,4	-0,1
	Depois	5,0 ± 0,1			5,2 ± 0,1		
36 ton Lamas 2C	Antes	4,8 ± 0,1	0,02	0,3	5,2 ± 0,1	0,8	0
	Depois	5,1 ± 0,2			5,1 ± 0,1		
<i>p</i>				0,7			0,5

Teoricamente estas lamas podiam ter um efeito importante no pH do solo, em virtude de conterem $\text{Ca}(\text{OH})_2$, que por sua vez, não tendo todo reagido com as lamas, poderia libertar iões OH^- e Ca^{2+} na solução do solo. Por outro lado podiam ter contribuído para a redução do pH do solo, porque contém uma quantidade apreciável de azoto que pode sofrer nitrificação, sendo esse um processo acidificante.

Em 2010 houve dois tratamentos em que o pH aumentou de forma significativa após o ensaio, onde se aplicaram 24 e 36 toneladas de lamas com duas calagens por hectare. Tal facto seria compreensível se essa tendência se tivesse confirmado no ano seguinte, o que não foi o caso. Para além disso, considerando que não houve qualquer tratamento (incluindo os controlos) que se diferenciasse no efeito no pH do solo ($p = 0,7$

e 0,5, em 2010 e 2011, respectivamente), só podemos concluir que o impacto destas lamas a curto prazo nesta característica é pouco relevante. Porém, não excluimos a possibilidade do efeito das lamas no pH do solo poder vir a ser relevante a médio e longo prazo.

2.2.4.2 – Matéria Orgânica

A aplicação de lamas, sendo essas maioritariamente compostas de matéria orgânica sugere à partida que deverão ter um efeito positivo no teor de matéria orgânica do solo. Efectivamente este aumentou de forma consistente com a aplicação das lamas nos dois anos de ensaios (Quadro 2.6). Porém há vários factores que nos levam a não ser conclusivos sobre o benefício que trazem a curto prazo aos solos:

- a) Os valores de matéria orgânica no solo aumentaram não só nos tratamentos com lamas, mas também nos controlos, não havendo diferenças significativas nos dois tipos de modalidades ($p = 0,8$ e $0,4$, em 2010 e 2011, respectivamente).
- b) A razão C:N das lamas é muito baixa, pelo que é expectável que, uma vez bem misturadas com o solo, se mineralizem rapidamente.
- c) Dado que a diferença temporal entre a primeira e a segunda recolha de amostras não excede os cinco meses, é provável que seja demasiado curto para que os possíveis efeitos das lamas no teor de matéria orgânica do solo sejam mensuráveis. Tal facto é ainda agravado pelo método de aplicação das lamas que levou a que a sua mistura no solo não fosse muito uniforme.

No entanto houve vários casos em que nos talhões onde se aplicou lamas houve aumentos significativos no teor de matéria orgânica do solo, nomeadamente quando se aplicou 36 toneladas por hectare, pelo que não podemos excluir que a longo prazo, após aplicações sucessivas, esse teor venha a aumentar de forma significativa.

Quadro 2.6 - Valores médios e desvio padrão, em percentagem, de matéria orgânica antes e depois da aplicação de lamas e respectiva variação para 2010 e 2011.

Modalidade ensaiada		MO (2010)	<i>p</i>	Δ MO	MO (2011)	<i>p</i>	Δ MO
NPK	Antes	7,7 \pm 0,7	0,1	0,7	7,1 \pm 1,7	0,4	1,0
	Depois	8,4 \pm 0,4			8,1 \pm 1,1		
K	Antes	7,7 \pm 0,7	0,2	0,7	6,3 \pm 1,4	0,03	2,8
	Depois	8,4 \pm 0,6			9,1 \pm 1,4		
12 ton Lamas 1C	Antes	7,8 \pm 0,4	0,9	0,1	6,6 \pm 1,8	0,3	1,2
	Depois	7,9 \pm 0,3			7,8 \pm 0,8		
24 ton Lamas 1C	Antes	7,9 \pm 0,8	0,7	0,3	7,3 \pm 0,2	0,002	1,6
	Depois	8,2 \pm 0,8			8,9 \pm 0,6		
36 ton Lamas 1C	Antes	7,4 \pm 0,6	0,7	0,2	6,0 \pm 1,4	0,08	1,5
	Depois	7,5 \pm 0,5			7,5 \pm 0,6		
12 ton Lamas 2C	Antes	7,8 \pm 0,7	0,7	0,2	5,8 \pm 1,0	0,01	2,3
	Depois	8,0 \pm 0,4			8,1 \pm 0,8		
24 ton Lamas 2C	Antes	7,4 \pm 0,7	0,3	0,3	6,6 \pm 1,7	0,2	1,8
	Depois	7,9 \pm 0,5			8,4 \pm 1,7		
36 ton Lamas 2C	Antes	7,8 \pm 0,9	0,6	0,7	5,2 \pm 0,2	0,001	2,5
	Depois	8,1 \pm 0,5			7,7 \pm 0,8		
<i>p</i>				0,8			0,4

2.2.4.3 - Fósforo

Os níveis de fósforo tendencialmente foram mais elevados nas amostras colhidas depois dos ensaios, tanto nas modalidades em que se aplicou as lamas, como em ambos os controlos (Quadro 2.7), porém essas variações em caso algum foram significativas. Enquanto que seria de esperar que no controlo NPK houvesse uma variação positiva deste nutriente no fim do ensaio, já no controlo K tal era inesperado, pelo que só podemos concluir que a variabilidade no terreno ou algum erro que não conseguimos escrutinar poderão ter levado a esta situação. De igual modo há tratamentos com lamas que nos suscitam dúvidas, nomeadamente os dois casos em que a aplicação de lamas fez baixar os níveis de fósforo no solo nos dois anos de ensaios. Porém, verifica-se uma

tendência de que quanto maior for o doseamento de lamas, maior tende a ser a variação dos níveis de fósforo no solo. Como tal admitimos como lógico e provável que a longo prazo a aplicação de lamas, pelo menos nas doses mais elevadas, possa vir a contribuir para o aumento dos níveis de fósforo “assimilável” no solo.

Quadro 2.7 - Valores médios e desvio padrão, em mg/kg, de fósforo antes e depois da aplicação de lamas e respectiva variação para 2010 e 2011.

Modalidade ensaiada		P (2010)	<i>p</i>	Δ P	P (2011)	<i>p</i>	Δ P
NPK	Antes	20,0 ± 8,0	0,9	0,8	19,0 ± 4,5	0,4	3,0
	Depois	20,8 ± 8,7			22,0 ± 4,7		
K	Antes	20,0 ± 8,0	0,9	0,8	16,5 ± 3,3	0,4	2,8
	Depois	20,8 ± 7,6			19,3 ± 5,0		
12 ton Lamas 1C	Antes	21,5 ± 6,4	0,4	1,8	22,5 ± 6,9	0,8	-1,0
	Depois	23,3 ± 4,9			21,5 ± 5,3		
24 ton Lamas 1C	Antes	22,8 ± 7,8	0,8	1,0	18,8 ± 8,4	0,3	6,3
	Depois	23,8 ± 3,7			25,0 ± 6,4		
36 ton Lamas 1C	Antes	24,3 ± 4,6	0,4	3,3	20,8 ± 3,4	0,4	2,5
	Depois	24,5 ± 6,0			23,3 ± 4,6		
12 ton Lamas 2C	Antes	26,3 ± 6,7	0,5	-3,0	20,5 ± 4,2	0,6	2,5
	Depois	23,3 ± 5,1			23,0 ± 7,4		
24 ton Lamas 2C	Antes	28,0 ± 8,8	0,7	3,0	22,0 ± 5,0	0,6	3,3
	Depois	31,0 ± 10,9			25,3 ± 9,7		
36 ton Lamas 2C	Antes	18,5 ± 4,2	0,4	2,8	20,5 ± 3,8	0,4	4,8
	Depois	21,3 ± 5,1			25,3 ± 8,6		
<i>p</i>				0,7			0,6

2.2.4.4 – Potássio

Os valores de potássio são obviamente influenciados pela fertilização, porque, de todos os parâmetros avaliados este é o nutriente em que maior número de modalidades apresentaram diferenças significativas nos resultados das análises feitas antes e depois dos ensaios (Quadro 2.8). Dada a baixa fertilidade intrínseca destes solos em potássio,

decidiu-se fazer uma fertilização substantiva deste nutriente em todas as modalidades, nomeadamente naquelas em que se aplicaram lamas. O reforço dessa fertilização à partida não foi afectado pelo tipo de lamas nem pelo seu doseamento, porque o aumento dos níveis de potássio após os ensaios não apresenta um padrão que sugira de alguma forma depender dessas duas variáveis.

Quadro 2.8 - Valores médios e desvio padrão, em mg/kg, de potássio antes e depois da aplicação de lamas e respectiva variação para 2010 e 2011.

Modalidade ensaiada		K (2010)	<i>p</i>	Δ K	K (2011)	<i>p</i>	Δ K
NPK	Antes	69,5 ± 20,4	0,3	16,7	39,0 ± 8,2	0,02	33,8
	Depois	85,3 ± 20,1			72,8 ± 20,6		
K	Antes	69,5 ± 20,4	0,2	24,0	36,8 ± 8,8	0,02	102,5
	Depois	93,5 ± 29,0			139,3 ± 63,9		
12 ton Lamas 1C	Antes	61,3 ± 11,8	0,09	15,5	45,3 ± 15,5	0,04	109,3
	Depois	76,8 ± 9,8			154,5 ± 80,2		
24 ton Lamas 1C	Antes	66,3 ± 25,9	0,6	8,5	49,3 ± 20,3	0,003	55,0
	Depois	74,8 ± 10,8			104,3 ± 11,2		
36 ton Lamas 1C	Antes	58,8 ± 8,5	0,4	17,8	49,5 ± 12,9	0,03	71,3
	Depois	76,5 ± 35,1			120,8 ± 48,2		
12 ton Lamas 2C	Antes	74,8 ± 19,4	0,08	24,3	40,3 ± 14,2	0,02	51,8
	Depois	99,0 ± 12,8			92,0 ± 29,8		
24 ton Lamas 2C	Antes	80,3 ± 24,3	0,4	19,0	46,3 ± 14,1	0,01	66,8
	Depois	99,3 ± 34,3			113,0 ± 33,2		
36 ton Lamas 2C	Antes	64,5 ± 18,8	0,09	39,5	39,0 ± 11,9	0,008	54,0
	Depois	104,0 ± 35,1			93,0 ± 24,6		
<i>p</i>				0,8			0,2

2.2.4.5 – Cálcio

No que respeita aos valores de cálcio, estes são sempre superiores quando analisados depois da colheita do milho, sendo apenas contrário o tratamento 12ton de lamas 2C. Visto que as lamas durante o seu processo de tratamento sofreram uma ou

duas calagens, era espectável que os níveis de cálcio no solo fossem superiores depois da colheita do milho, apesar da exportação que é feita por parte das plantas. Contudo, as diferenças não são significativas (Quadro 2.9).

Relativamente a 2011, os valores subiram consideravelmente após a colheita, sendo de uma forma geral mais acentuada nos tratamentos com aplicação de lamas (Quadro 2.9). Tal facto mais uma vez deverá ficar a dever-se à adição de cal que foi feita às lamas por uma ou duas vezes, mas os acréscimos também verificados nos controlos sugerem que outros factores não determinados terão contribuído para estas diferenças.

Quadro 2.9 - Valores médios e desvio padrão, em mg/kg, de cálcio antes e depois da aplicação de lamas e respectiva variação para 2010 e 2011.

Modalidade ensaiada		Ca (2010)	<i>p</i>	Δ Ca	Ca (2011)	<i>p</i>	Δ Ca
NPK	Antes	324,8 ± 39,8	0,3	75,0	277,3 ± 63,4	0,008	155,3
	Depois	399,8 ± 102,2			432,5 ± 48,5		
K	Antes	324,8 ± 89,8	0,5	40,8	295,3 ± 108,5	0,03	216,5
	Depois	365,5 ± 88,9			511,8 ± 113,1		
12 ton Lamas 1C	Antes	348,8 ± 81,2	0,9	4,0	289,3 ± 41,7	0,008	110,0
	Depois	352,8 ± 118,0			399,3 ± 38,3		
24 ton Lamas 1C	Antes	385,5 ± 107,8	0,7	30,3	325,8 ± 33,8	0,02	293,8
	Depois	415,8 ± 130,5			619,5 ± 176,1		
36 ton Lamas 1C	Antes	381,8 ± 112,4	0,6	42,5	282,0 ± 78,4	0,01	169,8
	Depois	423,3 ± 123,4			451,8 ± 55,9		
12 ton Lamas 2C	Antes	369,3 ± 59,9	0,8	-10,3	289,3 ± 54,5	0,04	207,8
	Depois	359,0 ± 68,8			497,0 ± 143,7		
24 ton Lamas 2C	Antes	361,8 ± 88,3	0,6	36,0	257,8 ± 78,0	0,001	271,3
	Depois	397,8 ± 116,2			529,0 ± 47,4		
36 ton Lamas 2C	Antes	379,5 ± 138,9	0,6	40,8	287,5 ± 33,5	0,009	290,0
	Depois	420,3 ± 91,4			577,5 ± 148,8		
<i>p</i>				0,9			0,2

2.2.4.6 – Magnésio

Por último e em relação ao magnésio os resultados vão também num sentido ascendente, ou seja, níveis do nutriente mais elevados nos talhões depois da colheita, sendo que se verificou um maior acréscimo no ano de 2011. Também em 2011 verificaram-se em alguns tratamentos diferenças significativas, nomeadamente num dos controlos. Tal como com o cálcio, as razões de acréscimo dos níveis de magnésio não se deve exclusivamente à adição de lamas, mas também a outros factores que não pudemos determinar.

Quadro 2.10 - Valores médios e desvio padrão, em mg/kg, de magnésio antes e depois da aplicação de lamas e respectiva variação para 2010 e 2011.

Modalidade ensaiada		Mg (2010)	<i>p</i>	Δ Mg	Mg (2011)	<i>p</i>	Δ Mg
NPK	Antes	44,5 ± 11,7	0,09	21,0	49,0 ± 14,7	0,02	28,8
	Depois	65,5 ± 17,6			77,8 ± 9,4		
K	Antes	44,5 ± 11,7	0,1	16,0	46,5 ± 21,4	0,07	40,3
	Depois	60,5 ± 12,2			86,8 ± 30,0		
12 ton Lamas 1C	Antes	51,8 ± 9,7	0,5	9,0	54,3 ± 15,5	0,3	16,5
	Depois	60,8 ± 20,3			70,8 ± 23,1		
24 ton Lamas 1C	Antes	54,3 ± 17,3	0,5	9,8	57,5 ± 8,8	0,05	39,0
	Depois	64,0 ± 20,8			96,5 ± 30,5		
36 ton Lamas 1C	Antes	52,3 ± 11,9	0,1	14,8	56,5 ± 19,8	0,06	28,8
	Depois	67,0 ± 11,3			85,3 ± 14,1		
12 ton Lamas 2C	Antes	51,5 ± 14,8	0,7	4,0	44,8 ± 9,6	0,006	26,5
	Depois	55,5 ± 8,7			71,3 ± 8,3		
24 ton Lamas 2C	Antes	54,3 ± 14,4	0,5	9,3	44,0 ± 10,2	0,02	32,0
	Depois	63,5 ± 21,0			76,0 ± 16,4		
36 ton Lamas 2C	Antes	53,8 ± 16,5	0,5	7,8	48,5 ± 8,6	0,1	26,3
	Depois	61,5 ± 14,3			74,8 ± 27,4		
<i>p</i>				0,9			0,7

2.3 - Conclusões

A aplicação de lamas de ETAR é benéfica para a cultura do milho. Não só aumentou a sua produtividade, como teve uma resposta superior aos controlos, mesmo quando se aplicou NPK.

Na aplicação das lamas, se o solo for carente de K, é fundamental que se suplemente com adubação deste nutriente em fundo, o que pode ser feito à sementeira, como aliás foi efectuado neste ensaio.

A fertilidade dos solos aumentou com todas as modalidades de fertilização, sendo que no caso da aplicação de lamas os benefícios foram transversais a quase todos os nutrientes do solo.

As lamas corrigidas com duas calagens, que deveriam ter inicialmente pH 11, passados alguns dias já só tinham pH ligeiramente abaixo de 9, o que revela que a acção correctora da adição de CaOH_2 extra é pouco eficiente. Mais ainda, a produtividade do milho nas zonas onde estas lamas foram aplicadas pouco diferiu das que receberam lamas com um único tratamento de calagem, pelo que esta adição suplementar de CaOH_2 não traz benefícios que compensem o custo extra desta operação.

O efeito da aplicação de lamas no pH do solo não foi idêntico nos dois anos de ensaios, pelo que não se lhe pode atribuir por enquanto uma acção correctora da acidez do solo.

Num sistema de rotação com pastagem permanente, a aplicação de lamas na cultura do milho, desde que se respeitem os preceitos legais, é benéfico para a rentabilidade desta cultura.

BIBLIOGRAFIA

Andersen e Sede. 2002. *Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge*. Relatório produzido para a Comissão Europeia.

Böhm, R. (1999) *Higienic Aspects of Sludge Reuse*, Workshop on Problems Around Sludge-Proceedings, Stresa, Italy, 18-19, November, European Commission JointResearch, EUR 19657 EN.

Borges, J. 2001. *Valorização Agro-ambiental das lamas da ETAR da Praia da Vitória*. Relatório de Estágio. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.

Decreto Legislativo Regional N° 18/2009/A de 19 de Outubro. Jornal Oficial I Série n° 166 de 20 de Outubro de 2009. Região Autónoma dos Açores.

Decreto-Lei n°446/91 de 22 de Novembro. Diário da República I Série-A n° 269 de 22 de Novembro de 1991.

Decreto-Lei n° 118/2006 de 21 de Junho. Diário da República I Série-A n° 118 de 21 de Junho de 2006.

Decreto-Lei n° 276/2009 de 2 de Outubro. Diário da República 1ª Série n° 192 de 2 de Outubro de 2009.

Directiva 86/278/CEE do Conselho de 12 de Junho.

Ekström, M. 2006. *Contribuição para o estudo de um modelo de gestão das lamas residuais urbanas na ilha Terceira*. Aplicação de uma metodologia para a selecção do destino final de lamas residuais urbanas. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.

Comissão Europeia, Direcção Geral de Ambiente. 2001. *Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction*. Relatório final.

Espínola, P. 2004. *Caracterização do Sistema Tecnológico e das Lamas da ETAR do Destacamento Americano da Base das Lajes – Ilha Terceira*. Relatório de estágio. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.

Metcalf e Eddy, Inc. 1995. *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse*. 3ª Edição. Tata McGraw-Hill. Nova Deli. India.

Milieu, WRc e RPA. 2008. *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land*. Overview report. Milieu Ltd. Bélgica.

Milieu, WRc e RPA. 2008. *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land*. Report on options and impacts. Milieu Ltd. Bélgica.

Milieu, WRc e RPA. 2008. *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land*. Project interim reports. Milieu Ltd. Bélgica.

Mota, M. e Mestre, S. 2007. *Estudo sobre valorização agrícola de lamas de depuração na cultura de milho silagem*. Relatório. Serviço de Desenvolvimento Agrário de São Miguel. Secretaria Regional da Agricultura e Florestas.

Monjardino, P. 1993. *A temperatura como factor determinante no desenvolvimento na cultura do milho (Zea mays L.)*. Mestrado em Produção Vegetal. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.

Pereira, C. 2010. *Valorização de lamas da Estação de tratamento de Águas Residuais de Angra do Heroísmo*. Projecto de licenciatura. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.

Ritchie, S., Hanway, J e Benson, G. 1993. *How a corn plant develops*. Iowa State University Extension Special Report nº 48,

Rocha, A. 2002. *Identificação de bactérias patogénicas nas lamas residuais da ETAR da Praia da Vitória para efeitos de aproveitamento agrícola*. Relatório de estágio. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.

Santos, J. 2002. *Fertilização – Fundamentos da Utilização dos Adubos e Correctivos*. Colecção EuroAgro. Publicações Europa-América. Lisboa.

ANEXOS

ANEXO I

Frequência das análises das lamas destinadas à agricultura e dos solos, parâmetros a analisar, métodos de amostragem e de análise e normas de referência a seguir, de acordo com o Decreto Legislativo Regional Nº 18/2009/A de 19 de Outubro.

1 - Análise das lamas:

1.1 - Frequência das análises:

1.1.1 - As lamas devem ser analisadas pelo menos duas vezes por ano, uma no período Outono-Inverno e outra no período Primavera-Verão.

1.1.2 - Caso, no período de dois anos consecutivos, os resultados das análises não difiram de forma significativa entre si, as lamas poderão ser analisadas apenas uma vez em cada biénio.

1.1.3 - Sempre que surgirem variações significativas na qualidade da água bruta ou alterações no funcionamento da estação de tratamento de águas residuais, deve ser realizada uma análise após a primeira produção de lamas.

1.2 - Parâmetros a analisar em todas as lamas destinadas a utilização agrícola:

1.2.1 - Devem ser analisados os seguintes parâmetros:

- a) Matéria seca;
- b) Matéria orgânica;
- c) pH;
- d) Azoto total;
- e) Azoto nítrico e amoniacal;
- f) Fósforo total;
- g) Metais pesados (cádmio, cobre, níquel, chumbo, zinco, mercúrio e crómio).

1.2.2 - A entidade licenciadora pode dispensar a realização de análises do cobre, do zinco e do crómio, caso tais parâmetros não se encontrem presentes ou apenas se encontrem presentes em quantidade desprezável nas águas afluentes à estação de tratamento.

1.2.3 - Nos casos previstos na alínea anterior, a entidade licenciadora decide quais os parâmetros a analisar.

1.3 - Parâmetros a analisar nas lamas de estações de tratamento de águas residuais urbanas que recebam águas residuais de outras origens para além da doméstica, destinadas a utilização agrícola:

1.3.1 - Devem ser analisados os seguintes parâmetros:

- a) Compostos orgânicos (AOX, LAS, DEHP, NPE, PAH e PCB);
- b) Dioxinas (PCDD/F).

1.3.2 - A entidade licenciadora pode dispensar a realização de análises dos compostos orgânicos e das dioxinas, caso tais parâmetros não se encontrem presentes ou apenas se encontrem presentes em quantidade desprezável nas águas afluentes à estação de tratamento.

1.3.3 - Nos casos previstos na alínea anterior, a entidade licenciadora decide quais os parâmetros a analisar.

1.4 - Outros parâmetros a analisar: a entidade licenciadora pode exigir a análise de outros parâmetros, designadamente microrganismos patogénicos, tais como *Salmonella, spp* e *Escherichia coli*.

1.5 - Métodos de análise:

1.5.1 - Amostragem:

- a) As lamas são objecto de amostragem após tratamento, e antes da entrega ao utilizador, devendo ser representativas das lamas produzidas;
- b) As amostras devem ser recolhidas na época de maior produção de lamas ou após variações significativas da qualidade dos efluentes;
- c) As amostras devem ser colhidas em vários locais, a diferentes profundidades e horas, sendo posteriormente homogeneizadas, antes de se proceder à sua análise.

1.5.2 - Métodos a utilizar:

- a) A análise dos metais pesados (cádmio, cobre, níquel, chumbo, zinco, mercúrio e crómio) é efectuada após digestão com água-régia;
- b) O método de referência para a quantificação é a espectrofotometria de absorção atómica;
- c) O limite de detecção para cada metal não deve exceder 10 % do respectivo valor limite de concentração.

2 - Análise dos solos:

2.1 - Frequência das análises: os solos devem ser analisados antes de cada aplicação de lamas e com uma antecedência máxima de seis meses relativamente à data da apresentação do requerimento.

2.2 - Parâmetros a analisar: devem ser analisados os seguintes parâmetros:

- a) pH;
- b) Metais pesados (cádmio, cobre, níquel, chumbo, zinco, mercúrio e crómio);
- c) Azoto;
- d) Fósforo.

2.3 - Métodos de análise:

2.3.1 - Amostragem:

- a) O terreno em que se pretende aplicar as lamas deverá ser dividido em parcelas de área não superior a 5 ha, cada uma com aspecto uniforme quanto à cor, textura, declive, drenagem e tipo de cultivo utilizado (mesmo tipo de cultura, estrumeações, adubações, calagens, etc.);
- b) Em cada uma destas parcelas, proceder-se-á à colheita de uma amostra representativa, constituída por 25 subamostras do mesmo tamanho, colhidas ao acaso na camada arável do solo a uma profundidade de 25 cm, utilizando, sempre que possível, sonda apropriada feita de material não contaminante. Nas situações em que a profundidade do solo de superfície é menor que 25 cm, a profundidade de colheita da amostra pode ser menor, mas nunca inferior a 10 cm;
- c) As subamostras são recolhidas num recipiente (balde) de material não contaminante, procedendo-se no fim à mistura cuidadosa da terra colhida de forma a ficar homogénea. Desta amostra retira-se uma porção de meio quilo, que é colocada num saco apropriado, devidamente etiquetado e enviado para o laboratório.

2.3.2 - Métodos a utilizar:

- a) A análise dos metais pesados (cádmio, cobre, níquel, chumbo, zinco, mercúrio e crómio) é efectuada após digestão com água-régia. No caso do mercúrio, a análise pode ser feita directamente no material original, através de decomposição térmica, num analisador de mercúrio;
- b) O método de referência para a quantificação é a espectrofotometria de absorção atómica;
- c) O limite de detecção para cada metal não deve exceder 10 % do respectivo valor limite de concentração.

3 - Normas de referência: a amostragem e a análise dos solos e das lamas deve ser realizada tendo por base as normas CEN. Em caso de inexistência das normas CEN,

aplicam-se as correspondentes normas nacionais, caso existam, ou, na falta destas, as normas ISO.

3.1 - Análise das lamas:

Parâmetro	Título	Referência
Amostragem	Qualidade da água — amostragem — parte 13 do guia sobre amostragem de lamas provenientes de estações de tratamento de águas e de águas residuais.	NP EN ISO 5667-13.
Matéria seca	Caracterização das lamas — determinação do teor em matéria seca e do teor em água.	EN 12 880.
Matéria orgânica	Caracterização das lamas — determinação da perda de massa por ignição	EN 12 879.
pH	Caracterização das lamas — determinação do valor do pH	EN 12 176.
Azoto	Caracterização das lamas — determinação do azoto Kjeldahl	EN 13 342.
Metais pesados e fósforo	Caracterização das lamas — extracção por água-régia — determinação dos elementos metálicos vestigiais (arsénio, cádmio, crómio, cobre, mercúrio, níquel, chumbo, selénio e zinco) e do fósforo. A análise do mercúrio poderá, também, ser efectuada através de decomposição térmica da amostra num analisador de mercúrio.	EN 13 346.

3.2 - Análise dos solos:

Parâmetros	Título	Referência
Amostragem	Qualidade do solo — amostragem — parte 1 do guia sobre programas de amostragem.	ISO 10 381-1.
	Qualidade do solo — amostragem — parte 4 do guia sobre programas de amostragem.	ISO 10 381-4.
pH	Qualidade do solo — determinação do pH	ISO 10 390.
Metais pesados	Qualidade do solo — extracção dos elementos vestigiais metálicos solúveis por água-régia. A análise do mercúrio poderá, também, ser efectuada através de decomposição térmica da amostra num analisador de mercúrio.	ISO 11 466. —
	Qualidade do solo — determinação do cádmio, crómio, cobalto, cobre, chumbo, manganês, níquel e zinco, pelo método de espectrofotometria de absorção atómica de chama e atomização electrotérmica.	ISO 11 047.
Azoto	Qualidade do solo — determinação do azoto nítrico, do azoto amoniacal, do azoto solúvel total na amostra seca, usando cloreto de cálcio como agente de extracção.	ISO 14 255.
Fósforo	Qualidade do solo — determinação do fósforo — determinação por espectrofotometria do fósforo solúvel em solução de carbonato de sódio hidrogenado. Qualidade do solo — determinação do fósforo — determinação por espectrofotometria do fósforo extraído através da solução de lactato de amónio + ácido acético a pH 3,65-3,75.	ISO 11 263. —