



Universidade dos Açores
Departamento de Ciências Agrárias
Produção e utilização de composto na cultura do milho



Mestrado em Engenharia Agronómica
Diogo Ferreira Araújo
Angra do Heroísmo
2017



Universidade dos Açores
Departamento de Ciências Agrárias
Produção e utilização de composto na cultura do milho

Mestrado em Engenharia Agrónómica
Diogo Ferreira Araújo

Orientadores:

Professor Doutor Paulo Ferreira Mendes Monjardino
Professor Doutor Alberto Vieira Ferraz Pinheiro

Dissertação apresentada na Universidade dos Açores - Campus de Angra do Heroísmo
para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrónómica

Angra do Heroísmo

2017

Angra do Heroísmo, 30 de abril de 2017

AGRADECIMENTOS

Sete anos após a minha entrada na Universidade dos Açores chego à reta final do meu percurso académico. Quero agradecer a todos os que me apoiaram e tornaram possível esta realidade.

Agradeço aos meus pais que me possibilitaram uma excelente educação, qualidade de vida e estabilidade emocional e financeira; aos meus amigos e familiares que sempre transmitiram grande satisfação e orgulho no meu progresso académico e profissional, aos docentes Paulo Monjardino e Jorge Pinheiro e à Universidade dos Açores, Campus de Angra do Heroísmo, que me possibilitaram a conceção deste trabalho; à administração da Teramb que me possibilitou a realização do Estágio L; aos meus companheiros de trabalho e amigos Beatriz Azevedo e Bruno Messias pela paciência e atenção despendida; à Direção de Serviços de Agricultura, em especial à Eng^a Isabel Barreiros e ao Dr. Carlos Santos que me motivaram ao longo dos últimos meses para a conclusão desta etapa e por último, à Sandra Couto, minha namorada e sempre companheira.

Um muito obrigado a todos,

Diogo Araújo

RESUMO

Nas explorações agrícolas em que se produz milho forrageiro, verifica-se recorrentemente um diferencial negativo da fração orgânica persistente no solo, levando à depreciação da sua fertilidade e depauperação. Acresce a isso a elevada exportação de nutrientes que é efetuada por esta cultura. Entretanto há elevada disponibilidade de diversos materiais, como as ramagens e lamas de estações de tratamento de águas residuais, que são frequentemente consideradas como resíduos, mas que podem servir para a fertilização orgânica desta e doutras culturas.

Este projeto teve dois objetivos: estudar o processo de maturação do composto feito à base de ramagens trituradas misturadas com lamas de tratamento de águas residuais e com lamas de tratamento de efluentes da indústria de lacticínios; e avaliar o impacto nutricional que tiveram na cultura do milho, tendo como termo de comparação a fertilização química e composto obtido exclusivamente à base de ramagens.

Fez-se um ensaio de campo com diversas modalidades de compostos com vista a avaliar o impacto que teve na produtividade do milho forrageiro. Também se avaliou o processo de compostagem à escala industrial, neste caso reduzindo-se à mistura de lamas de tratamento de efluentes da indústria de lacticínios com ramagens na proporção 1:1 (peso fresco).

Verificámos a inexistência de diferenças significativas de produtividade em todas as modalidades ensaiadas, contudo uma das modalidades de composto excedeu a produtividade obtida com a fertilização química. Efetuou-se a monitorização do valor nutricional do composto, da humidade, temperatura, de emissões gasosas e pH ao longo do período de compostagem.

Destes dois ensaios concluímos que o composto obtido à base de ramagens e lamas tem valor agronómico, é executável à escala industrial e por isso é uma enorme mais-valia para a agricultura e o ambiente.

ABSTRACT

Maize forage producing farms often have deficit on the organic fraction in the soil, thus leading to depletion in soil fertility. In addition this crop is a relevant exporter of nutrients. However there is a great availability of many materials like boughs plus foliage and sludge from water treatment plants that usually are considered to be residues, but instead could be used as organic fertilizers for maize and other crops.

This project had two main purposes: to study the maturation process of compost done on boughs plus foliage and sludge; to evaluate the fertilizer impact on maize, comparing with chemical fertilization and compost obtained exclusively on vegetation.

A field trial was conducted with several variations of compost in order to determine their impact on forage maize productivity. The compost process at industrial scale was also evaluated, however restricting this analysis to the mixture of boughs plus foliage and sludge from water treatment plant of dairy industry in a 1:1 ratio (fresh weight).

In the field trial no significant differences in yield were determined wherein one variation of compost exceeded the yield obtained by chemical fertilization. The evaluation of the nutritional value of compost, the humidity, temperature and pH were performed throughout composting.

From these two trials we concluded that the compost obtained from boughs plus foliage and sludge has agronomic value, can be obtained at industrial scale and is a great value added trait for both agriculture and the environment.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	3
RESUMO	4
ABSTRACT	5
SÍMBOLOS E SIGLAS	14
INTRODUÇÃO	16
CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE COMPOSTO NA CULTURA DO MILHO	20
1.1 O milho	20
1.1.1 Fenologia e fases vegetativa e reprodutiva.....	20
1.1.2 Exigências nutricionais.....	21
1.1.3 Índice FAO	22
1.2 Fertilidade edáfica e adubação de fundo	23
1.2.1 O N e a sua mobilidade no solo	24
1.2.1.1 Método de Kjeldahl: Determinação laboratorial do teor de N total	25
1.2.2 Incorporação de resíduos orgânicos no solo.....	25
1.2.2.1 Decomposição dos resíduos orgânicos no solo	26
1.2.2.1.1 Fase de degradação	27
1.2.2.1.2 Fase de maturação	27
1.2.2.1.3 Fase de estabilização e processo.....	28
1.2.2.2 A contribuição dos compostos húmicos no sistema solo-planta em explorações agrícolas convencionais.....	28
1.3 Compostagem	28
1.3.1 O interesse de resíduos orgânicos provenientes da manutenção de espaços verdes e do tratamento de efluentes urbanos e agroindustriais em compostagem .	30
1.3.1.1 Resíduos orgânicos de origem vegetal	32
1.3.1.2 Lamas de depuração produzidas em ETAR	32
1.3.1.3 Padrões de qualidade legais inerentes à utilização de lamas de depuração em agricultura.....	33
1.3.2 Padrões de qualidade para a comercialização de composto de matérias de origem animal e vegetal (Revisão ao Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de junho)..	37

1.3.3 Parâmetros a monitorizar ao longo do processo de compostagem.....	46
1.3.3.1 Forma, altura e largura.....	46
1.3.3.2 Arejamento e influência sobre a digestão aeróbia e anaeróbia.....	46
1.3.3.3 Temperatura.....	47
1.3.3.4 Humidade	47
1.3.3.5 pH e potencial oxidação-redução	48
CAPÍTULO 2 – ENSAIO DA UTILIZAÇÃO DE COMPOSTO COMO FERTILIZANTE NA CULTURA DO MILHO	49
2.1 Material e métodos	49
2.1.1 Identificação e caracterização das modalidades a ensaiar	49
2.1.2 Cultivar de milho ensaiada	50
2.1.3 Localização do ensaio.....	51
2.1.4 Delineamento experimental do ensaio de campo	52
2.1.5 Análises químicas do solo	54
2.1.6 Cálculo de quantidades de fertilizantes a incorporar por talhão.....	55
2.1.7 Mobilização de solo, aplicação e incorporação de composto e herbicida	57
2.1.8 Sementeira	58
2.1.9 Aplicação e incorporação de adubo químico de síntese	59
2.1.10 Acompanhamento da evolução do ensaio	59
2.1.11 Colheita de amostras de solo por talhão	60
2.1.12 Colheita do ensaio	60
2.2 Resultados e discussão	61
2.2.1 Acompanhamento e evolução do ensaio	61
2.2.2 Análise comparativa de produtividade	62
2.2.2.1 Produtividade de biomassa em MS total	63
2.2.2.2 Produtividade de grão em MS	64
2.2.3 Análises químicas de solo antes e após o ensaio	65
2.3 Conclusões.....	69
CAPÍTULO 3 – ENSAIO DE COMPOSTAGEM À ESCALA INDUSTRIAL	70
3.1 Material e métodos	70
3.1.1 Modalidade de composto a ensaiar.....	70
3.1.2 Localização do ensaio.....	71
3.1.3 Equipamento auxiliar à compostagem e à monitorização do processo	72

3.2 Delineamento experimental.....	73
3.2.1 Procedimentos de monitorização, de recolha e preparação de amostras	74
3.2.2 Determinação da MS, cinzas totais e MO	75
3.2.3 Determinação do N total (método Kjeldahl), N amoniacal e N nítrico	75
3.2.4 Determinação do P total (espectrofotometria de absorção molecular).....	76
3.2.5 Determinação do K, Na, Mg, Ca, Na, (espectrofotometria de absorção atómica)	76
3.2.6 Determinação de pH e CE	77
3.3 Resultados e Discussão.....	77
3.3.1 Caraterísticas das lamas e ramagens.....	77
3.3.2 Estrutura	78
3.3.3 Temperatura.....	80
3.3.4 MS e Humidade	82
3.3.5 O ₂ e CO ₂	83
3.3.6 CH ₄ e H ₂ S	85
3.3.7 MO e C	86
3.3.8 N total, nítrico e amoniacal	87
3.3.9 Relação C/N.....	90
3.3.10 P, K, Mg, Ca e Na.....	91
3.3.11 pH e CE	93
3.4 Conclusões.....	95
BIBLIOGRAFIA	97

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Produção das principais culturas, na RAA (SREA, 2016).....	17
Quadro 2 - Balanço de N à superfície do solo (INE,2016).....	18
Quadro 3 – Identificação e caracterização das modalidades ensaiadas.....	50
Quadro 4 – Quantidade de fertilizantes incorporados por área e por unidade experimental.	55
Quadro 5 – Quantidade de nutrientes providenciada por todas as modalidades de fertilização.	57
Quadro 6 – Produção de grão(kg/ha) por modalidade ensaiada e respectiva média, desvio padrão e índice de colheita (valores não significativos $p = 0,33$).	65
Quadro 7 - Valores referentes á análise de solo realizada antes do ensaio.	65
Quadro 8 - Valores referentes à análise de solo realizada para posterior implementação do ensaio da utilização de composto na cultura de milho.	66
Quadro 9 – Valores de massa, volume e densidade de ramagens e lamas.	71
Quadro 10 – Equipamento utilizado na produção e monitorização da evolução do composto.....	72
Quadro 11 (Continuação) – Equipamento utilizado na produção e monitorização da evolução do composto.	73
Quadro 12 – Procedimentos de monitorização, de recolha e preparação das amostras para análise.	74
Quadro 13 – Teor nutricional das ramagens e das lamas utilizadas para a produção de composto.....	78
Quadro 14 – Datas de construção das medas de composto.	78

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Registo da entrada de resíduos biodegradáveis e de lamas de depuração entre os anos de 2013 e 2015 na Central de Valorização Orgânica da Teramb, Empresa Municipal de Gestão e Valorização Ambiental da Ilha Terceira.....	19
Gráfico 2 - Evolução da temperatura do composto ao longo do seu processo de maturação.....	80

Gráfico 3 - Evolução do teor de humidade do composto ao longo do seu processo de maturação.....	82
Gráfico 4 - Evolução da precipitação durante a compostagem.	83
Gráfico 5 - Evolução do teor de O ₂ na atmosfera dentro da meda ao longo da compostagem.....	84
Gráfico 6 - Evolução do teor de CO ₂ na atmosfera dentro da meda ao longo da compostagem.....	84
Gráfico 7 – Evolução do teor de CH ₄ na atmosfera dentro da meda ao longo da compostagem.....	85
Gráfico 8 - Evolução do teor de H ₂ S na atmosfera dentro da meda ao longo da compostagem.....	86
Gráfico 9 - Evolução do teor de MO do composto ao longo do seu processo de maturação.....	87
Gráfico 10 - Evolução do teor de carbono do composto ao longo do seu processo de maturação.....	87
Gráfico 11 - Evolução do teor de N total do composto ao longo do seu processo de maturação.....	88
Gráfico 12 - Evolução do teor de N amoniacal do composto ao longo do seu processo de maturação.....	89
Gráfico 13 - Evolução do teor de N nítrico do composto ao longo do seu processo de maturação.....	89
Gráfico 14 - Evolução da relação C/N do composto ao longo do processo seu de maturação.....	90
Gráfico 15 - Evolução do teor de P do composto ao longo do seu processo de maturação.....	91
Gráfico 16 - Evolução do teor de K do compostos ao longo do seu processo de maturação.....	92
Gráfico 17 - Evolução do teor de Mg do composto ao longo do seu processo de maturação.....	92
Gráfico 18 - Evolução do teor de Ca do composto ao longo do seu processo de maturação.....	92
Gráfico 19 - Evolução do teor de Na do composto ao longo do seu processo de maturação.....	93
Gráfico 20 - Evolução do pH do composto ao longo do seu processo de maturação. ...	93

Gráfico 21- Evolução da CE ao longo do processo de maturação do composto.....	94
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Acumulado homólogo do valor unitário de m ³ de leite entregues em fábrica referente aos anos de 2015 e 2016 na RAA (SREA, 2016).....	18
Figura 2 - Desenvolvimento da planta de milho (University of Illinois Extension Service, 2000).....	21
Figura 3 - Variação das necessidades em N, P, K e água ao longo do processo de desenvolvimento do milho (Growth Potential Corn Growers' Workshop, PIONEER 2016).....	22
Figura 4 - Tabela de índice FAO e classificação de variedades consoante o seu desenvolvimento e exigência em graus-dia (Lynce de Faria, 1980).	23
Figura 5 Mobilidade do N no âmbito agrícola.	24
Figura 6 – Representação esquemática do processo de decomposição e estabilização da MO (Gonçalves, 2005).	26
Figura 7 - Análise das características iniciais de cinco amostras de ramagens, uma amostra de lamas de depuração de proveniência agroindustrial (ETARp) e de uma amostra de lamas de depuração de proveniência urbana (ETARm) (Souto, 2015).....	31
Figura 8 - Análise das características finais de cinco amostras composto resultante da mistura de ramagens com lamas de depuração de proveniência agroindustrial (Pronicol), e de ramagens com lamas de depuração de proveniência urbana (ETAR) em proporções massa de ramagens: massa de lamas, distintas (Souto, 2015).	31
Figura 9 - Quadro N.º1 do anexo II do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro.	34
Figura 10 - Quadro N.º2 do anexo II do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro.	34
Figura 11 - Quadro N.º3 do anexo II do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro.	35
Figura 12 - Quadro N.º4 do anexo II do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro.	35
Figura 13 - Quadro N.º5 do anexo II do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro.	35

Figura 14 - Quadro N.º1 do anexo I do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro.	36
Figura 15 - Quadro N.º2 do anexo I do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro.	36
Figura 16 - Quadro N.º3 do anexo I do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro.	36
Figura 17 - Descrição dos tipos de matérias fertilizantes não harmonizadas presente no anexo I do artigo 40º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.	38
Figura 18 - Anexo IV do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.....	39
Figura 19 - Ponto 5 do anexo I do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.	40
Figura 20 - Quadro n.º1 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.	40
Figura 21 - Quadro n.º2 do anexo II do artigo 40.º Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.	41
Figura 22 - Quadro n.º3 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.	41
Figura 23 - Quadro n.º4 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.	42
Figura 24 - Quadro n.º5 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.	42
Figura 25 - Quadro n.º6 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.	43
Figura 26 - Quadro n.º7 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.	43
Figura 27 - Quadro n.º8 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.	43
Figura 28 - Quadro n.º9 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.	44
Figura 29 - Ponto 3 do anexo III do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.	44
Figura 30 - Quadro n.º 1 do anexo IV do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.	45
Figura 31 - Corte transversal de uma meda (Merillot 1995, SOGEA 1991).	47

Figura 32 - Cultivar de milho ensaiada com denominação comercial DCK6040 (Dekalb).....	51
Figura 33 - Comparação relativa de híbridos de maturidade relativa (RM) 75, 115 e 135 GDDs acumulados e projeção de maturidade e colheita (PIONEER 2016).....	51
Figura 34 - Fotografia aérea do terreno onde foi realizado o ensaio (Google Earth).....	52
Figura 35 - A) Representação bidimensional da individualização de talhões no terreno; B) Método de limitação de talhões.	53
Figura 36 - Esquema de identificação de talhões e de distribuição definitiva de modalidades ensaiadas.....	54
Figura 37 - A) Imagem com pontos representativos das zonas de colheita; B) Sonda helicoidal utilizada para a recolha de amostras.	55
Figura 38 - Descrição e caracterização técnica de NERGETIC C-PRO (ADP Fertilizantes 2013).	56
Figura 39 - A) Vista geral do ensaio aquando da aplicação do composto; B) Aplicação e distribuição de composto; C) Efeito visual da distribuição de modalidades após distribuição de composto; D) Homogeneidade na distribuição de por unidade experimental.	58
Figura 40 - Visão traseira (A) e lateral (B) do semeador de precisão.	59
Figura 41 - A) Campo semeado 26 dias após sementeira; B) Abertura de regos paralelos às linhas de sementeira; C) Regos após adubação.....	59
Figura 42 - Preparação de amostras.....	60
Figura 43 - A) Pesagem total de duas plantas de milho mais saco de pano; B) Pesagem de saco de pano; C) Pesagem de grão.....	61
Figura 44 - Acompanhamento do ensaio e registo de evolução da cultura: A) Dia 26; B) Dia 46; C) Dia 59; D) Dia 78; E) Dia 81; e F) Dia 118.....	62
Figura 45– Caixa de caracterização de resíduos (A) e caixa de camião de transporte de lamas(B)	71
Figura 46 – Medas de composto em volteamento.	71
Figura 47 - A) Vista de cima do parque da CVO, B) Fotografia aérea Google Earth, © 2016 Google.	72
Figura 48 - A) Meda pré-volteamento, B) Meda pós-volteamento.	79

SÍMBOLOS E SIGLAS

B - Boro

C - Carbono

Ca - Cálcio

C/N - Proporção carbono/azoto

CE - Condutividade eléctrica

Cu - Cobre

DLR - Decreto Legislativo Regional

ETAR - Estação de tratamento de águas residuais

EDTA - Ácido etilenodiaminotetracético

Fe - Ferro

GDDs - Graus dia

H₂SO₄ - Ácido sulfúrico

H₂S - Sulfureto de hidrogénio

H₃BO₃ - Ácido Bórico

ha - Hectare

HCl - Ácido clorídrico

Hg - Mercúrio

HgO - Óxido de mercúrio

INE - Instituto Nacional de Estatística

K - Potássio

K₂SO₄ - Sulfato de potássio

kgN/ha - Kilogramas de azoto por hectare

MO - Matéria orgânica

MS - Matéria seca

MV - Matéria verde

Mg - Magnésio

Mn - Manganês

N - Azoto

N₂O – Óxido nitroso

Na₂S₂O₃ - Tiosulfato de sódio

NH₄Cl – Cloreto de amónio

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - Sulfato de amónio

NH_3 - Amoníaco

NH_4^+ - Amónio

NO_2^- - Nitrito

NO_3^- - Nitrato

NaOH - Hidróxido de sódio

O - Oxigénio

P - Fósforo

pH - Potencial hidrogeniónico

RAA - Região Autónoma dos Açores

SMAH - Serviços Municipalizados de Angra do Heroísmo

SREA - Serviço Regional de Estatística dos Açores

Ton - Toneladas

TG - Taxa germinativa

Zn - Zinco

INTRODUÇÃO

Um agroecossistema para se manter estável deverá ser organizado para que sejam estabelecidas relações de equilíbrio entre as diferentes valências do sistema, tanto bióticas como abióticas. As culturas a explorar não deverão comprometer a fauna auxiliar, outros organismos que não interferem ou de vegetação que não comprometa a sua produtividade, promovendo assim alguma biodiversidade e a capacidade de reorganização e regeneração de forma natural.

A grande importância da cultura do milho (*Zea mays* L.) para silagem advém da sua capacidade de produzir muita MS num curto espaço de tempo. Esta planta descoberta pelos Europeus no século XV, oriunda do México, rapidamente se espalhou pelo resto do mundo dada a sua grande capacidade de adaptação a diversos tipos de climas e solos. Esta é a cultura arvense com maior impacto económico nos Açores. Ao longo dos últimos três anos os Açores registaram a exploração de 12119 ha/ano de solo agrícola destinado às principais culturas, sendo que 9901,67 ha/ano destinaram-se à cultura de milho forrageiro, justificando assim a sua importância na RAA (Quadro 1).

Em explorações em que grande parte do material vegetal produzido sai da área explorada, é verificado um diferencial negativo da fração orgânica persistente no solo, levando à sua depauperação. Este é o caso, entre muitos outros, da produção monocultural de milho forrageiro, em que a parte aérea vegetativa da cultura é extraída (Quadro 2), ficando apenas pouco mais do que as suas raízes no terreno, sendo o único contributo incorporativo de MO.

Se não tivermos em conta a adubação sintética nestas explorações, acabamos por atingir também, um diferencial nutricional negativo no solo. Esta diferença é devida à extração de nutrientes do solo por parte das culturas e também da redução dos teores em MO resultante do processo mineralização, sem haver reposição equivalente. O diferencial orgânico de um solo e consequente perda nutricional do mesmo pode então ser expresso por:

$$\text{Diferencial em MO} = (\text{MO pré-existente no solo} + \text{inputs em MO}) - \text{perda de MO por mineralização} - \text{perdas por erosão, emissões e lixiviação}$$

Anos	Superfície			Produção		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015
	ha			ton MV		
Culturas temporárias						
Batata	601	599	593	9 896	11 142	11 778
Batata-doce	57	60	62	1 129	1 176	1 125
Beterraba	382	354	100	9 891	13 320	5 761
Fava seca	37	37	37	89	88	72
Feijão seco	43	43	42	90	93	86
Inhame	58	60	60	1 089	1 191	1 194
Milho para grão	238	238	242	422	446	424
Milho forrageiro	9 161	9 342	11 202	225 648	270 775	333 300
Tabaco	32	44	60	77	108	141
Culturas permanentes						
Ananás	59	58	58	1 165	1 107	1 052
Anona	30	31	31	221	228	219
Banana	290	291	292	5 030	5 129	5 680
Castanha	64	65	65	182	206	192
Chá	37	37	37	95	120	157
Laranja	364	366	366	3 498	3 754	3 930
Maçã	56	56	56	404	449	396
Maracujá	9	10	10	26	28	30

Quadro 1 - Produção das principais culturas, na RAA (SREA, 2016).

Na ilha Terceira presentemente residem cerca de 56.141 habitantes (SREA, 2015). A RAA nos últimos dois anos (2014 a 2015) encontra-se consecutivamente entre a segunda e terceira região do país com maior registo de efetivos bovinos (INE, 2016). A lavoura apresenta-se assim como uma das atividades de maior impacte socioeconómico na região, em especial na ilha Terceira, ilha com o segundo maior valor acumulado (Figura 1) de entrega de leite em fábrica do arquipélago.

Ano	Incorporação	Remoção	Balanço Bruto	Balanço Líquido	Balanço bruto/ Superfície agrícola utilizada	Balanço líquido/ Superfície agrícola utilizada
			(Incorporação - Remoção)	(Incorporação - Remoção - Emissões)		
			ton de N	kg N / ha		
2013	301.030	167.119	133.912	81.727	36	22
2014	316.766	166.944	149.823	95.606	40	26
2015	323.946	169.691	154.255	100.038	42	27

Quadro 2 - Balanço de N à superfície do solo (INE,2016).

	Ano	Acumulado Homólogo		Ano	Acumulado Homólogo
Açores	2015	383 704,6	Pico	2015	4 888,1
	2016	379 625,3		2016	4 844,3
São Miguel	2015	246 315,7	Faial	2015	7 774,5
	2016	242 806,6		2016	7 862,2
Terceira	2015	99 918,5	Flores	2015	448,8
	2016	98 175,1		2016	794,3
Graciosa	2015	5 110,0	Corvo	2015	22,5
	2016	5 222,9		2016	20,8
São Jorge	2015	19 226,5			
	2016	19 899,0			

Figura 1 - Acumulado homólogo do valor unitário de m³ de leite entregues em fábrica referente aos anos de 2015 e 2016 na RAA (SREA, 2016).

As atividades urbana e agroindustrial são as duas maiores produtoras de resíduos da ilha, nestas destacando-se os resíduos biodegradáveis incluídos nos indiferenciados, os das ramagens provenientes das podas e aparas de jardim e as lamas provenientes do tratamento de efluentes que são na sua maioria tratados em ETAR, sendo a sua tipologia física, química e microbiana dependente da sua origem e do método de tratamento.

A gestão dos resíduos sólidos e lamas na ilha Terceira encontra-se a cargo da Teramb, Empresa Municipal de Gestão e Valorização Ambiental da Ilha Terceira, empresa que recebeu anualmente, entre 2013 e 2015, uma média anual de 3211 Ton,

1937 Ton e 597 Ton de resíduos de ramagens, lamas de depuração de origem agroindustrial e de lamas de depuração de origem urbana, respetivamente (Gráfico 1).

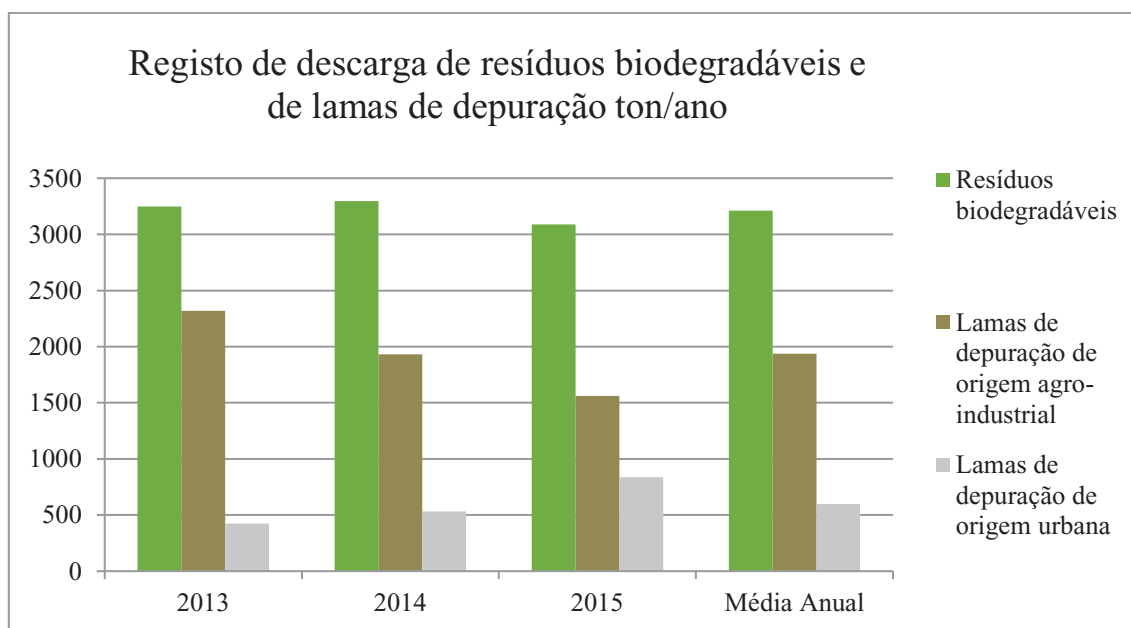


Gráfico 1 - Registo da entrada de resíduos biodegradáveis e de lamas de depuração entre os anos de 2013 e 2015 na Central de Valorização Orgânica da Teramb, Empresa Municipal de Gestão e Valorização Ambiental da Ilha Terceira.

Surge assim a necessidade de aproveitamento dos resíduos mencionados que, até à data, se encontravam marginalizados. Este estudo analisou a compostagem de lamas e ramagens sob diferentes modalidades. Considerando as suas características nutricionais e estruturantes para a produção de um fertilizante orgânico de origem agroindustrial e urbana, o composto daqui resultante pode ser uma alternativa aos fertilizantes químicos de síntese.

Para que se desse a consumação da proposta para a realização deste estudo foi necessária a ajuda da Teramb, que possibilitou meios infraestruturais e logísticos para a realização dos ensaios, garantindo condições para a salvaguarda da segurança dos colaboradores expostos ao manuseamento, utilização e monitorização do composto não pondo em causa a garantia de preservação da sanidade pública e qualidade ambiental durante o processo. Esta entidade antes do estudo em causa já tinha participado no apoio logístico e financeiro à produção de composto durante o ano de 2015 no estudo “Compostagem de ramagens com e sem lamas de ETAR” realizado por Luís Souto.

CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE COMPOSTO NA CULTURA DO MILHO

1.1 O milho

1.1.1 Fenologia e fases vegetativa e reprodutiva

O milho é uma cultura que, dada a sua grande variabilidade genética, possui uma vasta adaptabilidade ambiental. A variabilidade que o define geneticamente advém da fecundação cruzada a que está sujeito e que, conjugado pelo facto de ser uma planta C4, garante-lhe uma produtividade recorrentemente superior à dos outros cereais.

O seu fruto é classificado por cariopse indeiscente, composto por endosperma, pericarpo e embrião, sendo o primeiro constituído maioritariamente por amido e, em menor proporção, por proteína, enquanto que o último tem maior teor lipídico. Esta planta possui um sistema radicular fasciculado, de profundidade máxima de 1,2 m, que lhe confere maior eficiência no processo de absorção, dado o elevado volume de solo que ocupa. Como órgãos reprodutores masculino e feminino possui, respetivamente, uma panícula designada bandeira, e uma espiga de espiguetas unifloras que se encontra em crescimento até à fecundação.

O acompanhamento periódico desta cultura e das suas fases de desenvolvimento e crescimento permitem a compreensão do seu processo evolutivo, bem como da viabilidade de técnicas auxiliares para a exponenciação da produção. Segundo Ritchie *et al.* (1993) o ciclo produtivo desta cultura tem duas fases principais: vegetativa (V_n) e reprodutiva (R_n) (Figura 2).

O início de formação de um novo indivíduo é designado por V_e , correspondendo este estágio à emergência do coleóptilo.

A partir do V_e , a fase vegetativa é representada por V_n , onde “n” é substituído pelo número de folhas com bainha visível. A fase vegetativa é concluída com o aparecimento da bandeira e é dado início à fase reprodutiva, R_n .

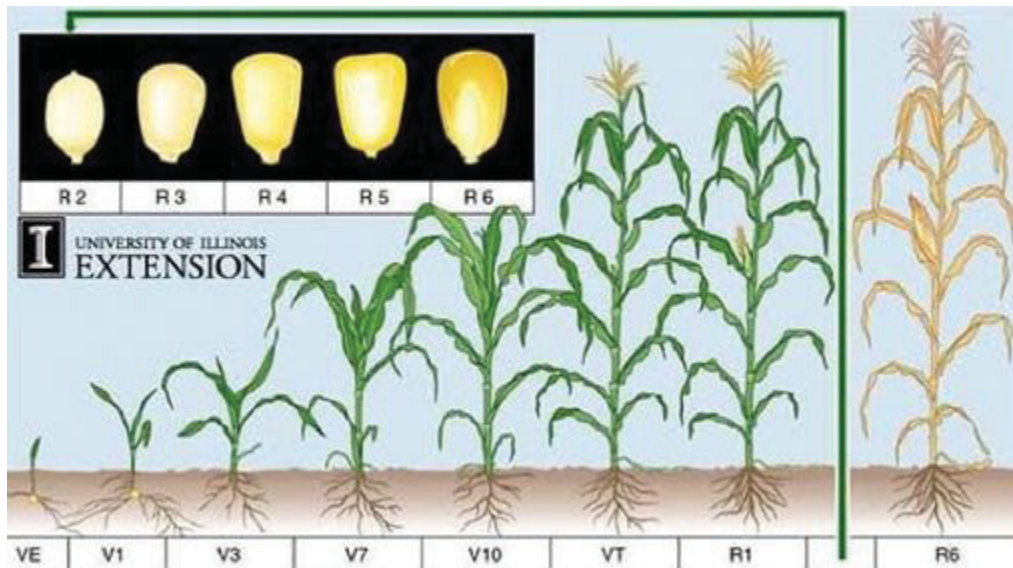


Figura 2 - Desenvolvimento da planta de milho (University of Illinois Extension Service, 2000).

À semelhança do estágio vegetativo, o estágio reprodutivo também é compreendido por várias fases onde ‘n’ assume forma numérica de 1 a 6 consoante a evolução do grão de milho, sendo elas: floração (R₁) em que ocorre o aparecimento das sedas e dá-se a fertilização, grão leitoso (R₂), grão pastoso (R₃), grão farináceo (R₄), grão farináceo duro (R₅), também conhecido por grão ceroso e adquire a forma dentada, e maturação fisiológica (R₆).

1.1.2 Exigências nutricionais

Dada a sua capacidade produtiva o milho exige uma disponibilização macro e micronutricional racional e adequada. Durante a totalidade do ciclo evolutivo desta cultura, macronutrientes como o N, P, K, Ca, Mg e S são necessários na ordem dos 24,9 Kg, 5,9 Kg, 26,7 Kg, 6,6 Kg, 7,6 Kg e 2,5 Kg, respetivamente, por tonelada de grão produzida; micronutrientes como o Zn, B e Cu apresentam necessidades da ordem dos 6,6g, 21g e 21,2g, respetivamente, por tonelada de grão produzido; o pH ideal deve situar-se entre 5,5 e 6,5, dependendo do estágio em que se encontra (BANR 2001). As necessidades de nutrientes e água variam conforme o estágio evolutivo (Figura 3).

Fatores bióticos (pragas e doenças), abióticos (condições edafoclimáticas como humidade, temperatura, luminosidade, disponibilidade de água e nutrientes, textura, estrutura e pH do solo) e as práticas culturais (mobilização do solo, sementeira, fertilização, controlo infestantes, colheita e rotações) são os que mais influenciam a sua produtividade.

Corn Development		Weekly Requirements (as percentage of total need)			
		% N	% P	% K	% Water
Maturity		less than 1	less than 1	-K	less than 1
17 weeks		less than 1	1	-K	1
16 weeks		less than 1	2	-K	2
15 weeks		less than 1	5	-K	3
14 weeks		2	8	--	5
13 weeks		4	9	--	6
12 weeks		6	11	1	8
11 weeks		10	13	5	11
10 weeks		12	15	8	12
Silking		16	11	16	12
Tasseling		15	10	20	11
7 weeks		14	7	21	10
6 weeks		11	4	16	7
5 weeks		7	2	9	5
4 weeks		2	1	3	4
3 weeks		less than 1	less than 1	1	2
2 weeks		less than 1	less than 1	less than 1	1
1 week	less than 1	less than 1	less than 1	less than 1	
Emergence					

Figura 3 - Variação das necessidades em N, P, K e água ao longo do processo de desenvolvimento do milho (Growth Potential Corn Growers' Workshop, PIONEER 2016).

1.1.3 Índice FAO

O índice FAO é um dos parâmetros que ajuda a previsão das necessidades do acumulado de graus-dia de uma cultura para que esta complete o seu ciclo. Para o seu cálculo é necessária a adição acumulativa dos GDDs (estimativa usada para definir o desenvolvimento da planta em resposta à exposição à temperatura diária) superiores ao zero vegetativo da cultura (no caso do milho o zero vegetativo varia de 6-10°C, dependendo do critério usado) e estabelecer uma relação entre a temperatura acumulada calculada e os índices e classificações tabelados pela FAO (Figura 4).

Índice - FAO	Classificação	Exigências em graus (°C)
100-200	Ultra precoce	1500
200-300	Muito precoce	1500-1690
300-400	Precoce	1690-1880
400-500	Semi-precoce	1880-1970
500-600	Semi-precoce	1970-2060
600-700	Ciclo médio	2060-2250
700-800	Semi-tardio	2250-2340
800-900	Tardio	2340-2530
900-1000	Muito tardio	2530-2720
1000	Ultra-tardio	2720

Figura 4 - Tabela de índice FAO e classificação de variedades consoante o seu desenvolvimento e exigência em graus-dia (Lynce de Faria, 1980).

1.2 Fertilidade edáfica e adubação de fundo

A fertilidade de um solo define-se como a capacidade do mesmo em suportar o crescimento vegetal, tanto pelos níveis de nutrientes que contém, como pela capacidade de reter os nutrientes provenientes de incorporações externas. As características físicas, biológicas e químicas são determinantes para a fertilidade e produtividade do solo, sendo de destacar a espessura, a estrutura, a textura do solo e a sua capacidade de retenção de água e de troca catiónica.

Em regimes de exploração intensiva em que existe uma grande exportação nutricional sem reposição, há necessidade de colmatar o défice em causa garantindo a disponibilidade de nutrientes no limiar do nível crítico (nível abaixo do qual as culturas respondem favoravelmente a um aporte nutricional), promovendo a capacidade produtiva da cultura de forma eficaz e sustentável do ponto de vista económico e ecológico. Processos de fertilização inorgânica e orgânica dos solos, como a adubação de fundo, garantem condições favoráveis à recuperação do seu índice de fertilidade.

A adubação de fundo é uma prática realizada no ato de preparação do solo durante o qual são incorporados fertilizantes de origem orgânica ou inorgânica com vista à libertação nutricional lenta e uniforme ao longo do desenvolvimento da cultura. A maior estabilidade da formulação química que compõe estes fertilizantes tem por objetivo combater possíveis carências durante longos períodos de tempo e minimizar perdas por

lixiviação durante o processo de disponibilização iónica. As adubações de fundo com vista à supressão parcial de necessidades azotadas são comuns em agroecossistemas simples com regime de exploração intensiva. Esta prática é recorrente dado que as formulações químicas dos adubos azotados utilizados em adubações de cobertura possuem características de libertação rápida, o que os torna propícios a lixiviações e a menor rentabilização das adubações.

1.2.1 O N e a sua mobilidade no solo

O N é um elemento de elevada mobilidade nos agroecossistemas, assumindo-se em formas orgânicas ao compor aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, entre muitos tipos de moléculas, e inorgânicas como os iões NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , NO , N_2O e N_2 . Este elemento passa por várias formas moleculares, assumindo diversos estados físicos que compreendem e completam diversas reações químicas que permitem compreender melhor a grande importância de algumas das formas iónicas a nível agronómico (Figura 5).

Dentro dos iões referidos o NO_2^- e NO_3^- , são as formas azotadas de maior mobilidade no solo, sendo que a última forma oxidada (NO_3^-) é a mais facilmente absorvida pelos organismos vegetais. Embora a absorção azotada seja predominantemente feita sob a forma de NO_3^- , a absorção do ião NH_4^+ também é realizada, mas com menor expressividade.

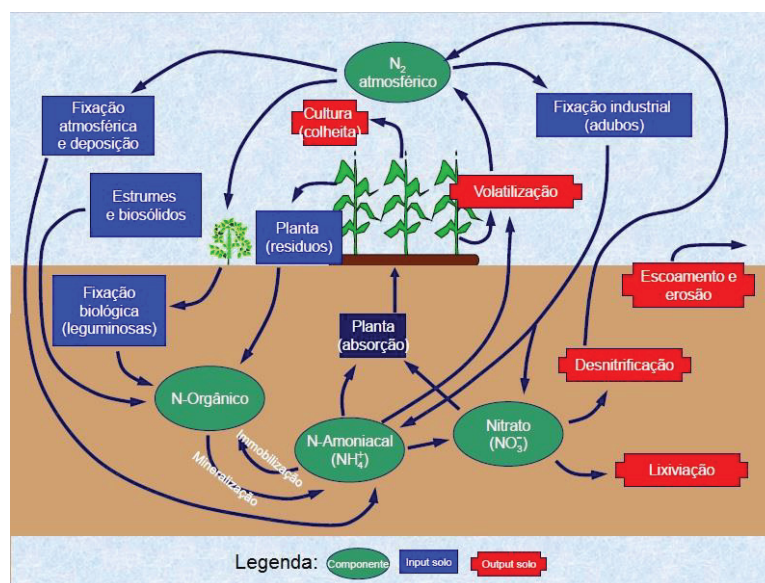


Figura 5 Mobilidade do N no âmbito agrícola.

1.2.1.1 Método de Kjeldahl: Determinação laboratorial do teor de N total

O método de Kjeldahl é utilizado para a medição do teor total de N a partir de amostras de material vegetal. A destruição da MO com H_2SO_4 concentrado, (na presença de um catalisador e por ação do calor) e a posterior destilação e titulação do N amoniacal, permite a determinação do seu teor azotado de origem orgânica. A fracção nítrica é recuperada por tratamento com uma reacção adicional com liga de Devarda.

O procedimento laboratorial baseia-se na reacção a quente das amostras com H_2SO_4 concentrado, proporcionando a transformação de NH_4^+ em $(NH_4)_2SO_4$. O $(NH_4)_2SO_4$ entra em reacção a quente com o NaOH concentrado, sendo o NH_4^+ libertado, condensado e recebido numa solução de H_3BO_3 , posteriormente titulada com HCl. Dada a lentidão da reacção com o H_2SO_4 , é aumentada a velocidade da oxidação com a adição de K_2SO_4 , que provoca um aumento de temperatura e a ebulição da mistura. Essa mistura é exposta a reacção com HgO, introduzido com a finalidade de acelerar o processo oxidativo. Por último é adicionado $Na_2S_2O_3$ à solução final. A utilização deste sal tem como finalidade eliminar a humidade da amostra, permitir a acção dos reagentes e diminuir a pressão de vapor da amostra que está sendo digerida. É assim diminuída temperatura de ebulição, aumentando a eficiência da digestão. O NH_4^+ libertado é destilado e seguidamente é medido o excesso de ácido por titulação, traduzindo este valor a quantidade de N presente na amostra original.

1.2.2 Incorporação de resíduos orgânicos no solo

A sustentabilidade de um agroecossistema a nível energético é determinada pela complexidade e inter-relação estabelecida entre os macro e microrganismos que o compõem e toda a componente edafoclimática envolvente. É possível uma maior eficiência energética ao se exercerem consociações que complementem carências de indivíduos distintos através de relações de simbiose como o mutualismo e o comensalismo.

A MO estabilizada ou húmus, proveniente da decomposição de resíduos orgânicos, contribui para o aumento da fertilidade do solo e da produção vegetal, pelo que é importante garantir a sua manutenção nos solos em níveis adequados (Gonçalves, 2005) favorecendo uma melhor estrutura. Nada se perde, tudo se transforma, o que neste contexto nos indica que o subproduto de certa atividade biológica poderá constituir uma

mais valia para outra, possibilitando um ciclo produtivo regulado tanto a nível populacional como em biomassa, em que as perdas são diminutas a nível energético.

1.2.2.1 Decomposição dos resíduos orgânicos no solo

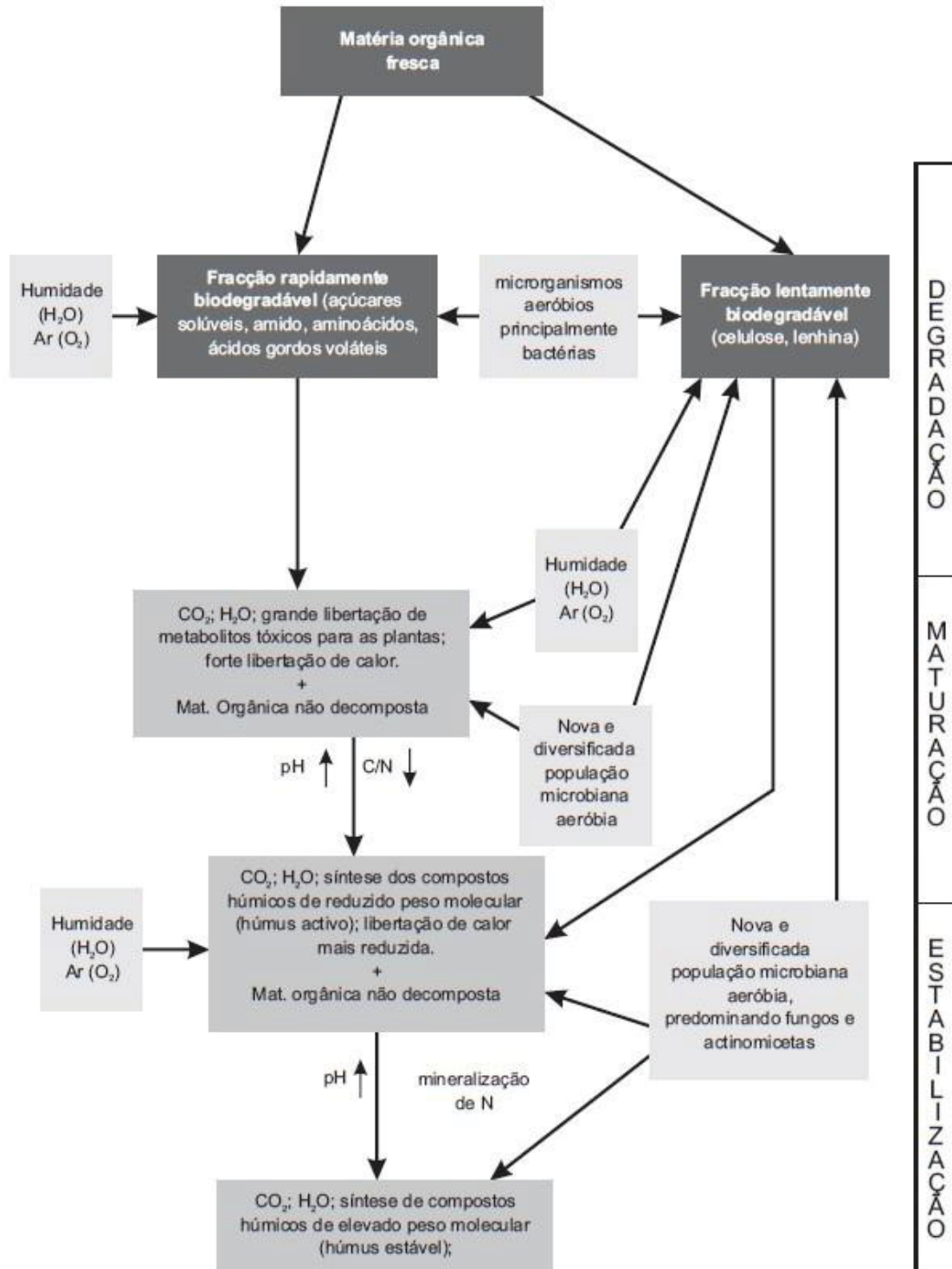


Figura 6 – Representação esquemática do processo de decomposição e estabilização da MO (Gonçalves, 2005).

Os resíduos orgânicos ao serem incorporados no solo passam por fases de degradação e maturação. Durante as mesmas incrementam a complexidade microbiológica do agroecossistema através do rápido inóculo de microrganismos maioritariamente organo-heterotróficos aeróbios. É criada uma relação comensal indivíduo-resíduo e promovidas reações de oxidação-redução para obtenção de energia, relação que está na origem de subprodutos de menor peso molecular que, quando associados a MO não decomposta, formam compostos húmicos de elevado peso molecular. Durante esta fase é dada a estabilização do resíduo transformado, promovida a mineralização de N e a formação de húmus (Figura 6).

1.2.2.1.1 Fase de degradação

A fase de degradação ou de decomposição inicia por um crescimento expressivo da população microbiana (na sua maioria bactérias e fungos) que procede a uma decomposição da fração biodegradável da MO (glúcidos solúveis e hidrolisáveis, lípidos, proteínas, entre outros) em moléculas de menor calibre (açúcares, ácidos gordos voláteis, aminoácidos, entre outros). Na normal ocorrência deste processo catabólico, O₂ e H₂O são consumidos, resultando a par da produção de calor a libertação de CO₂, H₂O (estado gasoso) e NH₃.

1.2.2.1.2 Fase de maturação

Esta fase maturativa também designada por fase de humificação é caracterizada por um novo desenvolvimento microbiano onde predominam populações de fungos actinomicetas e bactérias. Ao longo desta etapa são decompostos polissacarídeos (hemicelulose, celulose, e pectina), a par da restante fração orgânica lentamente biodegradável e parcialmente decomposta, nomeadamente a lenhina e lignocelulose. É defendido pela maioria dos autores que será a lenhina parcialmente decomposta que constituirá a estrutura base das substâncias húmicas que estabelecerão ligações com sintetizados produzidos pela contínua atividade microbiológica, originando substâncias húmicas de peso molecular crescente. Neste estágio maturativo existe uma baixa na libertação de gases e de produção calorífica.

1.2.2.1.3 Fase de estabilização e processo

Como estágio final do processo de decomposição dos resíduos orgânicos é dada a sua estabilização estrutural, química e microbiológica. Desencadeiam-se complexos processos de formação de polímeros estáveis devido à ação microbiana iminente nas anteriores fases, sintetizados a partir da interação com os metabolitos húmicos já formados (Soltner, 1986). É assim diminuída drasticamente a atividade microbiana e conseqüentemente a emissão de gases produzidos (maioritariamente CO₂, H₂O, NH₃).

1.2.2.2 A contribuição dos compostos húmicos no sistema solo-planta em explorações agrícolas convencionais

Os compostos húmicos interagem na formação de agregados estáveis no solo. Tal deve-se às propriedades coloidais dos mesmos compostos e ao seu contributo na retenção de catiões no solo.

Essas propriedades coloidais devem-se à presença dos radicais carboxílicos e oxidrílicos, entre outros, presentes nas cadeias laterais dos compostos húmicos cuja ação poderá: permitir a adsorção de catiões mono e bivalentes (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e NH₄⁺), disponibilizando-os para processos absorptivos no complexo solo-planta; induzir a formação de quelatos de metais polivalentes (Fe, Zn, Cu e Mn), evitando a sua inacessibilidade; e possibilitar a ligação de catiões como o Fe²⁺ e o Ca²⁺ com argilas, evitando oscilações no pH do solo aquando da disponibilização sobredimensionada de iões (H⁺, Al⁺, etc.) conseqüente da aplicação desmedida de produtos fitofarmacêuticos e de adubos químicos de síntese.

As mais-valias apresentadas limitarão a insolubilização e perda de nutrientes, promovendo a sua disponibilidade e protegendo as plantas da toxicidade provocada por más práticas agrícolas. Para além do referenciado, na formação de compostos húmicos, um dos processos ocorrentes que possui maior interesse a nível agronómico é a mineralização de N e a sua disponibilização para a produção vegetal. Isso contribui para diminuir as necessidades de fertilização.

1.3 Compostagem

O composto é um produto que resulta do metabolismo aeróbio de MO, que estabiliza a sua bioatividade e composição bioquímica. A compostagem pode ser vista

como um sistema “substrato/microrganismo”, sendo o substrato a matéria-prima indispensável para o desenvolvimento microbiano que posteriormente se encarrega por, em condições ideais, produzir um corretivo parcialmente humificado com características apuradas do ponto de vista estrutural e nutritivo. Este produto pode ser utilizado como substituto à incorporação de fertilizantes químicos de síntese no solo. A incorporação de resíduos orgânicos constitui uma prática repositora de MO que estimula o desenvolvimento da sua microflora e microfauna, aumenta a sua capacidade de retenção de água, a formação de estruturas coloidais e proporciona uma disponibilização nutricional constante.

A produção de composto objetiva um equilíbrio da razão C/N entre vários materiais, favorecida pela sua maior aproximação de valores iniciais entre 25 e 35 (Gonçalves, 2005). Para ser consumada esta prática é formada uma pilha, denominada meda, constituída pelo empilhamento de resíduos orgânicos de origem vegetal e/ou animal.

Na compostagem o NH_4^+ surge como produto da amonificação, durante a qual o N orgânico é convertido em N amoniacal. Após a amonificação, é dada o processo de nitrificação proporcionado pela ação de nitrossomas e nitrobacter, formando NO_3^- . No decorrer da nitrificação há uma passagem do ião NH_4^+ a NO_2^- que, dada a sua instabilidade, se oxidada de imediato em NO_3^- . Ao longo da compostagem são verificadas perdas azotadas resultantes das emissões gasosas e lixiviação inerentes a este processo. A maioria dessas perdas dá-se sob a forma de NH_3 e N_2O . A libertação de NH_3 é promovida pelo aumento de temperatura, sendo que quando menor a relação C/N do composto, maior a incidência de perdas desta forma azotada. A libertação de N_2O promove a desnitrificação ao ser dada sua conversão em N_2 , processo que ocorre em condições aneróbias facultativas pela ação de bactérias aeróbias e anaeróbias (Batista e Batista 2007).

Na construção da meda deve ser visado o estímulo ao desenvolvimento e a maximização da biodiversidade no composto através da supressão das necessidades energéticas dos microorganismos intervenientes. A disponibilização de substâncias facilmente biodegradáveis possibilita que tal aconteça, contudo para a manutenção da bioatividade e formação de compostos húmicos, a presença de substâncias lenhino-celulósicas é essencial nas suas devidas proporções. A dimensão das partículas de menor velocidade de biodegradação deve situar-se entre 1 e 15 centímetros, dependendo das características da mistura e sua propensão para a compactação (Diaz *et al*, 1993), influenciando a forma, altura e largura da meda.

A estrutura da meda proporciona a manutenção de calor e faculto a atividade macro e microbiana maioritariamente aeróbia, termófila e mesófila, com ações ocorrentes entre os 15°C e os 45°C; e os 45°C e os 60°C, respetivamente. O sucesso da bioxidação e desenvolvimento microbiano está limitado pelo teor hídrico e densidade da mistura, traduzindo-se na disponibilidade em O₂ e H₂O para a concretização do processo de decomposição, bem como pelas características do substrato, quantidade e diversidade microrrgânica e fatores ambientais envolvidos no processo. Com a otimização destas condições, são assim criadas as condições necessárias para a transformação da mistura dos resíduos num produto higienizado, rico em compostos húmicos suficientemente estáveis para poderem ser armazenados, e cuja aplicação ao solo tenha a menor perturbação ambiental (Batista e Batista 2007).

1.3.1 O interesse de resíduos orgânicos provenientes da manutenção de espaços verdes e do tratamento de efluentes urbanos e agroindustriais em compostagem

A produção de composto pressupõe a formação de um meio altamente nutritivo, húmido e com boa capacidade de arejamento. Para tal é necessária a utilização de materiais que providenciem as características em vista, formando uma mistura homogénea cuja variabilidade facilite, em caso de surgimento dessa necessidade, a monitorização e controle dos parâmetros físicos e bioquímicos inerentes à mesma.

Os efluentes de proveniência urbana e agroindustrial são fontes geradoras de recursos nutritivos maioritariamente marginalizados. O desaproveitamento destes resíduos deve-se ao fato da maioria das entidades não possuir meios nem destinos que visem o reaproveitamento sustentável ecológico e financeiro da sua reinserção no ciclo nutricional de ecossistemas agrícolas e outros.

A produção de composto a partir da mistura de lamas de depuração produzidas em ETAR originárias desse manejo e de resíduos vegetais resultantes de podas e manutenção de espaços verdes depositados em aterro, apresenta-se como uma mais-valia do ponto de vista agronómico, económico e ambiental. O seu valor nutricional é elevado (Figura 7), possuindo características que possibilitam a criação de um produto de valor acrescentado do ponto de vista nutricional (Figura 8).

	Ramag em 1	Ramag em 2	Ramag em 3	Ramag em 4	Ramag em 5	Lamas ETAR _p	Lamas ETAR _m
MS (%)	45,85	44,44	47,72	46,17	48,18	10,73	16,85
Cinzas (%)	6,40	4,10	5,30	4,90	4,20	41,00	40,50
M. O. (%)	93,60	95,90	94,70	95,10	95,80	59,00	59,50
C (%)	54,30	55,60	54,90	55,20	55,60	34,20	34,50
N (%)	1,20	1,10	1,10	1,10	0,90	8,00	4,00
C/N	45,20	50,90	52,0	48,60	59,10	4,30	8,50
P (%)	0,16	0,14	0,15	0,15	0,12	1,69	1,72
K (%)	0,79	0,83	1,01	0,99	0,98	0,10	0,09
Ca (%)	1,03	0,82	0,88	0,78	3,03	2,85	2,93
Mg (%)	0,15	0,11	0,15	0,13	0,27	0,24	0,25
Na (%)	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	0,20	0,20

Figura 7 - Análise das características iniciais de cinco amostras de ramagens, uma amostra de lamas de depuração de proveniência agroindustrial (ETAR_p) e de uma amostra de lamas de depuração de proveniência urbana (ETAR_m) (Souto, 2015).

	1:1 Pronicol	1:1 ETAR	3:1 ETAR	2:1 Pronicol	Ramagens
MS (%)	35,63	44,24	42,73	43,78	31,80
Cinzas (%)	47,88	52,33	44,24	44,86	16,24
M. O. (%)	52,12	47,67	55,76	55,14	83,76
C (%)	30,23	27,65	32,35	31,98	48,59
N (%)	1,78	1,18	1,35	1,79	1,28
C/N	17,02	23,42	23,98	17,84	37,93
P (%)	0,55	0,53	0,36	0,41	0,44
K (%)	0,33	0,31	0,67	0,59	0,68
Ca (%)	1,32	1,26	1,15	1,19	1,22
Mg (%)	0,23	0,23	0,22	0,23	0,29
Na (%)	0,13	0,14	0,16	0,16	0,21
Cu (ppm)	0,46	0,66	-	0,42	0,12
Fe (ppm)	57,64	57,04	48,71	56,88	53,97
Zn (ppm)	5,37	4,46	1,97	3,70	2,37
Mn (ppm)	11,98	11,37	7,03	9,92	8,02

Figura 8 - Análise das características finais de cinco amostras composto resultante da mistura de ramagens com lamas de depuração de proveniência agroindustrial (Pronicol), e de ramagens com lamas de depuração de proveniência urbana (ETAR) em proporções massa de ramagens: massa de lamas, distintas (Souto, 2015).

A legislação nacional de cada país impõe uma limitação à quantidade anual de resíduos tratados a introduzir no solo. Os requisitos comuns incluem: a realização de pré-tratamento com vista à redução da humidade, substâncias orgânicas poluentes e dos microrganismos patogénicos. As limitações à quantidade máxima de MS a introduzir por unidade de área e de tempo têm de ponderar a quantidade de metais pesados contida no resíduo, o teor de metais pesados no solo, o pH do solo e as limitações do tipo de cultura a explorar. Na RAA o regime jurídico que vigora quanto à recolha, tratamento e

descarga de águas residuais urbanas (incluem-se as de proveniência agroindustrial) apresenta-se disposto no Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro.

1.3.1.1 Resíduos orgânicos de origem vegetal

Materiais como restos de madeira e cortes arbustivos em verde possuem relações C/N elevadas, necessitando assim, mediante as suas proporções, de uma componente azotada que promova o equilíbrio desses índices no processo de compostagem. Estes resíduos de elevado teor lignocelulósico têm elevada macroporosidade. O teor dos restantes nutrientes é tendencialmente baixo, embora os níveis de K e Ca possam ser relativamente elevados (Souto 2015). A presença de elementos poluentes normalmente não é um obstáculo à sua utilização como fertilizante, nem há restrições ao seu uso a nível microbiológico, a não ser que sejam feitos de resíduos de espécies que possam comportar organismos patogénicos que prejudiquem as culturas. Há que realçar ainda a possível presença de sementes que possam propagar espécies indesejadas, sendo esta uma das características a determinar e que pode colocar restrições ao uso destes materiais como fertilizante orgânico.

1.3.1.2 Lamas de depuração produzidas em ETAR

As lamas oriundas de ETAR municipais são um subproduto resultante do tratamento de depuração das águas residuais. De acordo com a alínea o) do artigo 3º do Decreto Legislativo Regional Nº 18/2009/A de 19 de Outubro, “ 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 atividades agropecuárias e agroindustriais” são consideradas lamas de depuração. 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 objetivo 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”.

Com a reutilização destas lamas é possível aproveitar o elevado teor de MO e de nutrientes, como o N e o P, para aumentar a produtividade das culturas. Atualmente, a compostagem é um dos métodos mais utilizados para o tratamento das lamas, uma vez que permite reduzir o desaproveitamento deste resíduo e obter um composto higienizado e manipulável para a incorporação em solos mediante os parâmetros legais em vigor. A baixa razão C/N, elevada densidade e as características adesivas das lamas de depuração são compensadas e equilibradas pelas características das ramagens, sendo necessário assegurar uma mistura homogénea de ambos os componentes (o que nem sempre é fácil de se obter) e de se assegurar o constante arejamento, promovendo-se a respiração em detrimento da fermentação anaeróbia durante a fase de compostagem.

1.3.1.3 Padrões de qualidade legais inerentes à utilização de lamas de depuração em agricultura

Dados os potenciais impactes e riscos sanitários públicos e ambientais a serem provocados pela utilização de lamas de depuração em produção vegetal de culturas alimentares e industriais em sistemas agrícolas, nasce a nível comunitário a Diretiva 86/278/CEE do Conselho de 12 de junho. Esta diretiva europeia é posteriormente transposta para a ordem jurídica interna através do Decreto-Lei nº446/91 de 22 de novembro. A 21 de junho o Decreto-Lei nº 118/2006 revoga o anteriormente referido que é mais uma vez alvo de correção legislativa através do Decreto-Lei nº 276/2009 de 2 de Outubro, o qual vigora até á data.

O artigo 30º do Decreto-Lei nº 276/2009 de 2 de outubro enuncia a aplicação desta legislação às Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, salvaguardando contudo possíveis adaptações por parte das Regiões Autónomas. É deste modo criado nos Açores um único diploma legislativo referente ao tratamento de águas residuais urbanas e à utilização de lamas de depuração na agricultura, o Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro, que na atualidade regulamenta o regime jurídico de recolha, tratamento e descarga de águas residuais urbanas. Este advém da transposição para o direito regional da Diretiva Europeia 91/271/CEE do Conselho de 21 de maio relativa ao tratamento de águas residuais urbanas. Posteriormente é feita a incorporação no mesmo decreto legislativo regional, matéria constante do Decreto Legislativo

Regional nº 16/2005/A de 20 de julho que transpõe a Diretiva 86/278/CEE do Conselho de 12 de junho, retificado pela Diretiva nº 91/692/CEE do Conselho de 23 de dezembro e pelo Regulamento (CE) nº 807/2003 do Conselho de 14 de abril, diretiva relativa à utilização agrícola de lamas de depuração.

Os quadros N.º1, N.º2, N.º3, N.º4 e N.º5 (figuras 9 a 13, respetivamente) do anexo II do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro expõem os valores limite para a concentração de poluentes nas lamas de depuração utilizadas para fins agrícolas e nos solos onde são aplicadas, bem como respetivos métodos de amostragem e análise.

Valores limite de concentração de metais pesados nos solos receptores de lamas de depuração

Parâmetros	Valores limite (em mg/kg de matéria seca) para solos		
	$pH \leq 6,0$	$6,0 < pH \leq 7,0$	$pH > 7,0$ (*)
Cádmio (<i>Cd</i>)	1	3	4
Cobre (<i>Cu</i>)	50	100	200
Níquel (<i>Ni</i>)	30	75	110
Chumbo (<i>Pb</i>)	50	300	450
Zinco (<i>Zn</i>)	150	300	450
Mercúrio (<i>Hg</i>)	1,0	1,5	2,0
Crómio (<i>Cr</i>)	50	200	300

(*) Aplicável a solos onde se efectuem culturas com fins comerciais e destinadas unicamente ao consumo animal.

Figura 9 - Quadro N.º1 do anexo II do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro.

Valores limite de concentração de metais pesados nas lamas de depuração destinadas a utilização agronómica

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

Figura 10 - Quadro N.º2 do anexo II do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro.

**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 (<i>Cd</i>)	0,15
Cobre (<i>Cu</i>)	12
Níquel (<i>Ni</i>)	3
Chumbo (<i>Pb</i>)	15
Zinco (<i>Zn</i>)	30
Mercúrio (<i>Hg</i>)	0,1
Crômio (<i>Cr</i>)	4,5

Figura 11 - Quadro N.º3 do anexo II do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro.

**Valores limite de concentração de compostos orgânicos nas lamas
de depuração destinadas a utilização agronómica**

Parâmetros	Valor limite (mg/kg de matéria seca)
AOX (compostos organo-halogenados adsorvíveis ou haletos orgânicos adsorvíveis)	500
LAS (alquilo-benzo-sulfonatos lineares)	2600
DEHP (ftalato de 2-etilhexilo)	100
NPE (nonilfenóis e nonilfenóis etoxilados)	50
PAH (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) ...	6
PCB (compostos bifenilos policlorados)	0,8

Figura 12 - Quadro N.º4 do anexo II do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro.

**Valores limite de concentração de dioxinas nas lamas
de depuração destinadas a utilização agronómica**

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

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

Figura 13 - Quadro N.º5 do anexo II do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional nº 18/2009/A de 19 de outubro.

Os requisitos de tratamento para águas residuais urbanas e suas equiparadas e respetivos métodos de referência de medição encontram-se regulamentados pelos

quadros N.º1, N.º2 e N.º3 do anexo I do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional n.º 18/2009/A de 19 de outubro, representados nas figura 14, 15 e 16 abaixo apresentadas.

Requisitos para as descargas das estações de tratamento de águas residuais urbanas

Parâmetros	Concentração	Percentagem mínima de redução em relação à carga afluente	Método de referência de medição (c)
Carência bioquímica de oxigénio (CBO ₅ a 20°C) sem nitrificação (a).	25 mg/l O ₂	70-90	Amostra homogeneizada, não filtrada e não decantada. Determinação do oxigénio dissolvido antes e depois da incubação de cinco dias a 20°C +/- 1°C, na total ausência de luz. Adição de um inibidor de nitrificação.
Carência química de oxigénio (CQO)	125 mg/l O ₂	75	Amostra homogeneizada, não filtrada, não decantada. Dicromato de potássio.
Total de partículas sólidas em suspensão (b) (c)	35 mg/l	90	Filtração de uma amostra representativa através de um filtro de membrana de 0,45 µm. Secagem a 105°C e pesagem. Centrifugação de uma amostra representativa (durante pelo menos 5 min a uma aceleração média de 2800 g a 3200 g). Secagem a 105°C e pesagem.

(a) O parâmetro pode ser substituído por outro: carbono orgânico total (COT) ou carência total de oxigénio (CTO) se for possível estabelecer uma relação entre a CBO₅ e o parâmetro de substituição.

(b) Requisito facultativo.

(c) As análises de descargas provenientes de estações de tratamento que envolvam lagunagem são efectuadas com amostras filtradas; no entanto a concentração total de partículas sólidas em suspensão em descargas de águas não filtradas não pode exceder 150 mg/l.

Figura 14 - Quadro N.º1 do anexo I do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional n.º 18/2009/A de 19 de outubro.

Requisitos para as descargas das estações de tratamento de águas residuais urbanas em zonas sensíveis

Parâmetros	Concentração	Percentagem mínima de redução em relação à carga afluente	Método de referência de medição
Fósforo total	2 mg/l P	80	Espectrofotometria de absorção molecular.
Azoto total (a)	10 mg/l N	70-80	Espectrofotometria de absorção molecular.

(a) Por azoto total entende-se a soma total de azoto Kjeldahl (N orgânico + NH₄⁺), azoto de nitratos (NO₃⁻) e azoto de nitritos (NO₂⁻).

Figura 15 - Quadro N.º2 do anexo I do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional n.º 18/2009/A de 19 de outubro.

Número máximo de amostras não conformes

Série de amostras colhidas durante um ano	Número máximo de amostras que podem não ser conformes
De 4 a 7	1
De 8 a 16	2
De 17 a 28	3
De 29 a 40	4
De 41 a 53	5
De 54 a 67	6
De 68 a 81	7
De 82 a 95	8
De 96 a 110	9
De 111 a 125	10
De 126 a 140	11
De 141 a 155	12
De 156 a 171	13
De 172 a 187	14
De 188 a 203	15
De 204 a 219	16
De 220 a 235	17
De 236 a 251	18
De 252 a 268	19
De 269 a 284	20
De 285 a 300	21
De 301 a 317	22
De 318 a 334	23
De 335 a 350	24
De 351 a 365	25

Figura 16 - Quadro N.º3 do anexo I do artigo 66º do Decreto Legislativo Regional n.º 18/2009/A de 19 de outubro.

A aplicação das lamas fica por último sujeita a licenciamento, tendo este por base o disposto nos artigos 51º, 52º e 53º do diploma legislativo em questão.

1.3.2 Padrões de qualidade para a comercialização de composto de matérias de origem animal e vegetal (Revisão ao Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de junho)

O Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de junho visa a simplificação do processo administrativo associado à colocação no mercado de matérias fertilizantes, objetivando a disponibilização de um quadro legislativo de maior clareza jurídica. São assim estabelecidos critérios de qualidade para as matérias produzidas a partir de resíduos e matérias orgânicas biodegradáveis. É configurado o fim do estatuto de resíduo à produção de composto, constituindo-se este como um produto.

A origem deste decreto-lei, para além de contribuir para a consolidação legislativa no domínio das matérias fertilizantes, reúne esta matéria num único diploma. É assim revogado Decreto-Lei n.º 190/2004, de 17 de agosto, alterado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho, que estabelece regras relativas à colocação no mercado dos adubos e corretivos agrícolas, genericamente designados como matérias fertilizantes, assegurando a execução na ordem jurídica interna das disposições do Regulamento (CE) n.º 2003/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de outubro de 2003; e revogada a Portaria n.º 1322/2006, de 24 de novembro que define os termos de colocação em mercado, mediante autorização prévia, das matérias fertilizantes inerentes ao Decreto-Lei n.º 73/2011 e que estabelece regras que não constam no Regulamento (CE) n.º 2003/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de outubro de 2003 e na norma NP 1048 inerentes às mesmas matérias.

As matérias em causa, em conformidade com o Regulamento (CE) n.º 2003/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de outubro de 2003, bem como as matérias fertilizantes não harmonizadas (matérias fertilizantes que não sejam alvo de regulamentação específica da União Europeia e que pertençam a algum dos tipos incluídos no Anexo I do artigo 40.º do presente diploma) são destinadas à agricultura, silvicultura e jardinagem. Segundo o ponto 4 do artigo 2.º do presente diploma, “ o presente diploma não prejudica a plena aplicação das normas regulamentares a que obedece a gestão dos efluentes das atividades pecuárias e as normas técnicas a observar no âmbito do licenciamento das atividades de valorização agrícola ou de transformação dos efluentes pecuários, previstas na Portaria n.º 631/2009, de 9 de junho, alterada pela

Portaria n.º 114 -A/2011, de 23 de março, nem o regime jurídico de utilização agrícola das lamas, previsto no Decreto-Lei n.º 276/2009, de 2 de outubro, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 86/278/CEE, do Conselho, de 12 de junho de 1986, relativa à proteção do ambiente, e em especial dos solos, na utilização agrícola das lamas de depuração”. Desta forma não é posta em causa a aplicação prevista nos termos do Decreto Legislativo Regional n.º 18/2009/A de 19 de outubro quanto ao regime jurídico de recolha, tratamento e descarga de águas residuais urbanas.

Segundo o decreto-lei em discussão, corretivo orgânico é considerado ‘corretivo agrícola de origem vegetal, ou de origem vegetal e animal, utilizado principalmente com o objetivo de aumentar o nível de matéria orgânica do solo’, estando entre os tipos de matérias fertilizantes não harmonizadas (Figura 17).

ANEXO I

Tipos de matérias fertilizantes não harmonizadas

(a que se refere os artigos 3.º, 4.º, 6.º, 7.º, 8.º, 10.º, 11.º, 12.º, 15.º, 17.º, 19.º, 20.º, 24.º, 25.º, 28.º e 34.º)

Grupo 1 — Adubos minerais nacionais.

Grupo 2 — Adubos orgânicos.

Grupo 3 — Adubos organominerais.

Grupo 4 — Corretivos minerais.

Grupo 5 — Corretivos orgânicos.

Grupo 6 — Outros corretivos.

Grupo 7 — Outros adubos e produtos especiais.

Figura 17 - Descrição dos tipos de matérias fertilizantes não harmonizadas presente no anexo I do artigo 40º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.

No anexo IV do artigo 40.º do mesmo diploma constam os resíduos que podem ser utilizados para a produção de composto orgânico de acordo com a Decisão n.º 2000/532/CE, da Comissão, de 3 de maio, alterada pelas Decisões n.ºs 2001/118/CE, da Comissão, de 16 de janeiro, 2001/119/CE, da Comissão, de 22 de janeiro, e 2001/573/CE, do Conselho, de 23 de julho e em conformidade com a Portaria n.º 209/2004, de 3 de março, que aprova a Lista Europeia de Resíduos (Figura 18).

Código	Resíduo
02	RESÍDUOS DA AGRICULTURA, HORTICULTURA, AQUACULTURA, SILVICULTURA, CAÇA E PESCA, E DA PREPARAÇÃO E PROCESSAMENTO DE PRODUTOS ALIMENTARES.
02 05	Resíduos da indústria de laticínios.
02 05 01	Materiais impróprios para consumo ou processamento.
02 05 02	Lamas do tratamento local de efluentes.
20	RESÍDUOS URBANOS E EQUIPARADOS (RESÍDUOS DOMÉSTICOS, DO COMÉRCIO, INDÚSTRIA E SERVIÇOS), INCLUINDO AS FRAÇÕES RECOLHIDAS SELETIVAMENTE.
20 02	Resíduos de jardins e parques (incluindo cemitérios).
20 02 01	Resíduos biodegradáveis.

Figura 18 - Anexo IV do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.

O enquadramento dos vários tipos de corretivos orgânicos como o composto orgânico ou compostado pode ser feito através da informação presente no ponto 5 do anexo I do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho (Figura 19). Os teores mínimos de elementos e/ou substâncias úteis quanto à constituição orgânica, física, química e microbiológica do composto orgânico está disposta nos quadros 1 a 9 do anexo II artigo 40.º do mesmo diploma (Figura 20 a 28). É dada maior relevância aos níveis máximos de metais pesados (Figura 21); nível máximo de compostos orgânicos, de dioxinas e de furanos (Figura 24); e níveis máximos de materiais inertes antropogénicos (Figura 24) dada a perigosidade apresentada por estes componentes nos âmbitos da sanidade pública e ambiental, sendo que o critério estabelecido para a classificação do composto é a medida que permite escalonar a mesma perigosidade e consequente risco de manuseamento e aplicação.

A classificação da concentração de metais pesados do produto compostado é feita de acordo com o artigo 12.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho, no qual as matérias compostadas resultantes inerentes ao ponto 5 do anexo I do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho ‘‘não podem ultrapassar os valores máximos admissíveis para os parâmetros relativos aos metais pesados correspondentes às classes I, II, II A ou III fixados no quadro n.º 2 do anexo II ao presente diploma (Figura 21).

Quando o valor de qualquer um dos parâmetros ultrapasse os valores máximos admissíveis de uma classe, aplica-se a classe em que o valor máximo admissível de todos os parâmetros considerados não seja ultrapassado. Sempre que seja ultrapassado o valor de qualquer um dos parâmetros da classe III, o produto não pode ser colocado no mercado como matéria fertilizante, devendo ser gerido como um resíduo, de acordo com as normas vigentes em matéria de gestão de resíduos e demais legislação aplicável. Mais características destas classes são também discriminadas nas Figuras 23 e 26.

5 — Grupo 5. Corretivos orgânicos

N.º	Denominação do tipo	Indicações relativas ao processo de obtenção e aos componentes essenciais	Teores mínimos de elementos e/ou substâncias úteis. Outras indicações.	Outras indicações relativas à denominação do tipo.	Elementos ou substâncias úteis cujo teor deve ser declarado. Outros critérios.
1	2	3	4	5	6
1	Corretivo Composto	Produto obtido mediante processo controlado de transformação e estabilização de resíduos orgânicos, que constam no anexo IV.	Corretivo composto com os requisitos constantes no anexo II.	Composto Orgânico; Compostado.	1 — Matérias-primas. 2 — Humidade. 3 — pH. 4 — Condutividade elétrica. 5 — Massa volúmica aparente.
2	Corretivo resultante do substrato utilizado na produção de cogumelos.	Produto resultante do substrato utilizado na produção de cogumelos em câmara com atmosfera controlada.	Corretivo resultante do substrato utilizado na produção de cogumelos com os requisitos constantes no anexo II.		6 — Matéria orgânica. 7 — Azoto (N) total. 8 — Fósforo (P ₂ O ₅) total. 9 — Potássio (K ₂ O) total.
3	Vermicomposto	Produto estabilizado obtido essencialmente a partir da digestão de materiais orgânicos por minhocas, em condições controladas.	Corretivo obtido essencialmente a partir da digestão de materiais orgânicos por minhocas com os requisitos constantes no anexo II.		10 — Cálcio (CaO) total. 11 — Magnésio (MgO) total. 12 — Relação C/N. 13 — Boro (B) total. 14 — Cádmio (Cd) total. 15 — Chumbo (Pb) total. 16 — Cobre (Cu) total. 17 — Crómio (Cr) total. 18 — Mercúrio (Hg) total. 19 — Níquel (Ni) total. 20 — Zinco (Zn) total. 21 — Grau de maturação. 22 — Granulometria. 23 — Materiais inertes antropogénicos. 24 — <i>Salmonella</i> spp. 25 — <i>Escherichia coli</i> . 26 — Sementes e propágulos de infestantes.

Figura 19 - Ponto 5 do anexo I do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.

Quadro n.º 1 — Valores máximos admissíveis de microrganismos patogénicos, de sementes e de propágulos de infestantes

Microorganismos patogénicos	Valores máximos admissíveis
<i>Salmonella</i> spp.	Ausente em 25 g de matéria fertilizante produzida.
<i>Escherichia coli</i>	< 1000 células/g de matéria fertilizante produzida.
Sementes e propágulos de infestantes.	3 unidades ativas/Litro.

Figura 20 - Quadro n.º1 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.

Quadro n.º 2 — Valores máximos admissíveis para os teores «totais» de metais pesados na matéria fertilizante com componentes orgânicos, por classe (miligramas por quilograma de matéria seca).

Parâmetro	Matéria fertilizante			
	Classe I	Classe II	Classe II A	Classe III
Cádmio (<i>Cd</i>).....	0,7	1,5	3	5,0
Chumbo (<i>Pb</i>).....	100	150	300	500
Cobre (<i>Cu</i>).....	100	200	400	600
Crómio (<i>Cr</i>).....	100	150	300	400
Mercúrio (<i>Hg</i>).....	0,7	1,5	3	5,0
Níquel (<i>Ni</i>).....	50	100	200	200
Zinco (<i>Zn</i>).....	200	500	1000	1500

Nota: Os teores «totais» correspondem à fração solúvel em água-régia.

Figura 21 - Quadro n.º2 do anexo II do artigo 40.º Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.

Quadro n.º 3 — Quantidades máximas de metais pesados que se podem incorporar anualmente nos solos

Parâmetro	Valor máximo das quantidades que se podem incorporar por ano nos solos (gramas por hectare e por ano) *
Cádmio (<i>Cd</i>).....	30
Chumbo (<i>Pb</i>).....	2250
Cobre (<i>Cu</i>).....	3000
Crómio (<i>Cr</i>).....	3000
Mercúrio (<i>Hg</i>).....	30
Níquel (<i>Ni</i>).....	900
Zinco (<i>Zn</i>).....	7500

* Estas quantidades dependem das características da matéria fertilizante, bem como do solo em que irá ser aplicada; as quantidades indicadas referem-se a valores médios de metais pesados incorporados ao solo num período de 10 anos de aplicação.

Figura 22 - Quadro n.º3 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.

De acordo com o artigo 14.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho “as matérias fertilizantes produzidas a partir de resíduos urbanos e equiparados não podem ultrapassar os valores máximos admissíveis de materiais inertes antropogénicos, correspondentes às classes I, II, II A ou III do quadro n.º 4 do anexo II ao presente diploma (Figura 23). Quando o valor de materiais inertes antropogénicos ultrapassa os valores máximos admissíveis de uma classe, aplica -se a classe em que o valor máximo admissível de todos os parâmetros considerados não seja ultrapassado. Sempre que seja ultrapassado o valor máximo admissível de materiais inertes antropogénicos da classe

III, o produto não pode ser colocado no mercado como matéria fertilizante, devendo ser gerido como um resíduo, de acordo com as normas vigentes em matéria de gestão de resíduos e demais legislação aplicável”.

Quadro n.º 4 — Valores máximos admissíveis para os teores «totais» de materiais inertes antropogénicos*, pedras de granulometria superior a 5 mm (valores reportados à matéria seca), na matéria fertilizante com componentes orgânicos RU.

Parâmetro	Matéria fertilizante			
	Classe I	Classe II	Classe II A	Classe III
Materiais inertes antropogénicos (%)*	0,5	1,0	2,0	3,0
Pedras > 5 mm (%)	5,0	5,0	5,0	-

* Incluem vidro, metais e plásticos, cujas partículas apresentem uma granulometria superior a 2 mm.

Figura 23 - Quadro n.º4 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de junho.

O artigo 13.º do Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de junho acorda que o nível máximo de compostos orgânicos, de dioxinas e de furanos nestas “matérias fertilizantes produzidas a partir de lamas de estações de tratamento não podem ultrapassar, para todas as classes consideradas, os valores máximos admissíveis de concentração de compostos orgânicos, de dioxinas e de furanos constantes do quadro n.º 5 do anexo II ao presente diploma” (Figura 24).

Quadro n.º 5 — Valores máximos admissíveis dos teores de compostos orgânicos, dioxinas e furanos, nas situações descritas no presente ponto, para todas as classes de matérias fertilizantes.

Compostos orgânicos	Valores máximos admissíveis (mg/kg ms)*
AOX (compostos organo-halogenados adsorvíveis ou haletos orgânicos adsorvíveis)	500
LAS (alquilo benzenossulfonatos lineares)	2 600
DEHP (di (2-etilhexil) ftalato)	100
NPE (nonilfenóis e nonilfenóis etoxilados)	50
PAH (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos)	6
PCB (Compostos bifenilos policlorados)	0,8
Dioxinas e furanos	Valores máximos admissíveis (ng TE/kg ms)**
PCDD (policlorodibenzodioxinas)	100
PCDF (furanos)	

* mg/kg ms — miligrama/quilo de matéria seca.

** ng TE/kg ms — nanogramas de toxicidade equivalente/quilo de matéria seca.

Figura 24 - Quadro n.º5 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de junho.

Quadro n.º 6 — Categorias de matéria fertilizante em função do grau de maturação

Temperaturas atingidas no teste de autoaquecimento em vasos de Dewar (T°C)	Grau de maturação	Categoria da matéria fertilizante
T < 40	IV e V	Maturada.
40 < T < 50	III	Semimaturada.
T > 50	I e II	Fresca.

Figura 25 - Quadro n.º6 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de junho.

Quadro n.º 7 — Utilização da matéria fertilizante de acordo com a classe

Classe de matéria fertilizante	Utilização
Classes I e II	Agricultura.
Classe IIA	Culturas agrícolas arbóreas e arbustivas nomeadamente pomares, olivais e vinhas.
Classe III	Espécies silvícolas. Solo onde não se pretenda implantar culturas destinadas à alimentação humana e animal: Cobertura final de aterros e lixeiras, pedreiras e minas, tendo em vista a restauração da paisagem; Cobertura de valas e taludes, no caso da construção de estradas (integração paisagística); Fertilização de solos destinados à silvicultura (espécies cujo fruto não se utilize na alimentação humana ou animal); Culturas bioenergéticas; Jardinagem; produção florícola (excluem-se as culturas edíveis); Campos de futebol e de golfe.

Figura 26 - Quadro n.º7 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de junho.

Quadro n.º 8 — Valores máximos admissíveis dos teores «totais»* de metais pesados nos solos (reportados à matéria seca) em que se pretenda aplicar a matéria fertilizante

Elemento	Valores máximos admissíveis no solo (miligramas por quilograma)		
	5 ≤ pH < 6	6 ≤ pH < 7	pH ≥ 7
Cádmio (Cd)	0,5	1	1,5
Chumbo (Pb)	50	70	100
Cobre (Cu)	20	50	100
Crómio (Cr)	30	60	100
Mercúrio (Hg)	0,1	0,5	1
Níquel (Ni)	15	50	70
Zinco (Zn)	60	150	200

* Fração solúvel em água-régia.

Figura 27 - Quadro n.º8 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de junho.

Quadro n.º 9 — Quantidade máxima por classe de matéria fertilizante (reportadas à matéria fresca) a aplicar ao solo

Classe	Quantidade máxima de matéria fertilizante (reportada à matéria fresca) a aplicar ao solo (toneladas por hectare)	
I	< 50	} Anualmente *.
II	< 25	
II A	< 10	
III	< 200	
		Em cada período de 10 anos.

* Admite-se, todavia, a aplicação do dobro, triplo, quádruplo ou quántuplo destas quantidades desde que a periodicidade da sua aplicação seja, respetivamente, igual ou superior a dois, três, quatro ou cinco anos.

Figura 28 - Quadro n.º9 do anexo II do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.

As margens de tolerância e avaliação e controlo da qualidade do produto do composto orgânico, abordados nos artigos 15.º e 20.º, respetivamente, obedecem a regras nos mesmos âmbitos. As margens de tolerância dos teores de MO, relação C/N, N total, P total, K total, pH e condutividade elétrica seguem os critérios estabelecidos no ponto 3 do anexo III do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho (Figura 29), enquanto que a metodologia de referência inerente à avaliação e controlo da qualidade do produto do composto orgânico é exposta no Quadro n.º 1 do anexo IV do artigo 40.º do mesmo decreto (Figura 30).

3 — Corretivos orgânicos	
	Margens de tolerância
Matéria orgânica	20 % do valor declarado, com um máximo de 6 % em valor absoluto.
Relação C/N	10 % do valor declarado, com um máximo de 2 % em valor absoluto.
Azoto total	15 % do valor declarado, com um máximo de 0,9 % em valor absoluto.
Fósforo total (P ₂ O ₅)	15 % do valor declarado, com um máximo de 0,9 % em valor absoluto.
Potássio total (K ₂ O)	15 % do valor declarado, com um máximo de 0,9 % em valor absoluto.
pH	± 0,5 do valor declarado.
Condutividade elétrica	15 % do valor declarado.

Figura 29 - Ponto 3 do anexo III do artigo 40.º do Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho.

Quadro n.º 1 — Métodos de referência a adotar na determinação dos valores das características das matérias fertilizantes dos grupos constantes no anexo I

Parâmetro	Grupo/Método de referência
Amostragem	Grupos 2, 5, 6 e 7 — EN 12579.
Preparação da amostra	Grupos 2 e 5 — EN 13040.
Humidade	Grupos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 — EN 13040. Resultados expressos em %.
Massa volúmica aparente	Grupos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 — EN 12580. Resultados expressos em kg L ⁻¹ (matéria original).
pH (H ₂ O)	Grupos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 — EN 13037. Resultados expressos na matéria original.
Condutividade elétrica	Grupos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 — EN 13038. Resultados expressos em mS cm ⁻¹ (matéria original).
Azoto nítrico	Grupos 2, 3 e 5 — EN 13652.
Azoto amoniacal	Grupos 2, 3 e 5 — EN 13652.
Azoto total	Grupos 2, 5 e 7 — EN 13654. Resultados expressos em % (matéria seca).
Granulometria	Grupos 5 — Fração < 20 mm: Pesar 1 kg de amostra original e crivar usando um crivo de 20 mm e pesar as matérias separadas por crivagem. Resultados expressos em % (matéria original). Grupos 5 — Fração < 10 mm: Pesar 1 kg de amostra original e crivar usando um crivo de 10 mm e pesar as matérias separadas por crivagem. Resultados expressos em % (matéria original). Grupos 5 — Fração < 5 mm: Pesar 1 kg de amostra original e crivar usando um crivo de 5 mm e pesar as matérias separadas por crivagem. Resultados expressos em % (matéria original).
Matéria orgânica	Grupos 2, 3, 5, 6 e 7 — EN 13039. Resultados expressos em % (matéria seca).
Carbono total	Grupos 2, 3, 5, 6 e 7 — Análise elementar. Resultados expressos em % (matéria seca). Grupos 2, 3, 5, 6 e 7 — Cálculo: Teor de matéria orgânica/1,8. Resultados expressos em % (matéria seca).
Potássio (K ₂ O), cálcio (CaO) e magnésio (MgO) «totais»	Grupos 2, 3, 5 e 7 — EN 13650. Resultados expressos em % (matéria seca).
Cádmio, cobalto, cromo, cobre, ferro, molibdénio, níquel, manganés, chumbo e zinco «totais»	Grupos 2, 3, 5 e 7 — EN 13650. Resultados expressos em mg kg ⁻¹ (matéria seca).
Boro (B) e fósforo (P ₂ O ₅) «totais»	Grupos 2, 3, 5 e 7 — EN 13650. Resultados expressos em mg kg ⁻¹ (matéria seca). Grupos 2, 3, 5 e 7 — Incineração a (450 ± 10) °C e digestão com uma solução clorídrica das cinzas. Doseamento por ICP ou por EAM UV/VIS. Resultados expressos em mg kg ⁻¹ (matéria seca).
Enxofre total	Grupos 2 e 5 — Extração com ácido clorídrico e determinação por ICP.
Mercurio «total»	Grupos 2, 3, 5 e 7 — EN 13650. Resultados expressos em mg kg ⁻¹ (matéria seca). Grupos 2, 3, 5 e 7 — EN 16174. Resultados expressos em mg kg ⁻¹ (matéria seca). Grupos 2, 3, 5 e 7 — Decomposição térmica, formação de amálgama e quantificação do vapor de Hg em EAA sem chama. Resultados expressos em mg kg ⁻¹ (matéria seca).
<i>Salmonella</i> spp.	Grupos 5 — ISO 6579. Grupos 5 — ISO 6579/Cor 1. Grupos 5 — ISO 6579/Amd 1. Annex D.
<i>Escherichia coli</i>	Grupos 5 — ISO 16649-2 (1). Resultados expressos em número de células viáveis/g (matéria fresca). Grupos 5 — ISO/TS 16649-3 (1). Resultados expressos em número de células viáveis/g (matéria fresca). Grupos 5 — ISO 9308-2 (1). Resultados expressos em número de células viáveis/g (matéria fresca).
Grau de maturação (teste de autoaquecimento)	Grupos 5 — Metodologia proposta in «Gütesicherung Kompost RAL-GZ 251 (2006)» Resultados expressos em grau de maturação (I a V). Grupos 5 — Metodologia proposta in «Methods book for the analysis of compost (1994) Federal Compost Quality Assurance Organization, pp16-19». Resultados expressos em grau de maturação (I a V).
Materiais inertes antropogénicos e pedras	Grupos 5 — Metodologia proposta in «Methods book for the analysis of compost» (1994) Federal Compost Quality Assurance Organisation, pp. 41-43». Resultados expressos em % (matéria seca).
Fitotoxicidade	Grupos 5 — EN 16086-1. Resultados expressos em % de germinação. Grupos 5 — EN 16086-2. Resultados expressos em % de germinação. Grupos 5 — ISO 11269-2. Resultados expressos em % de germinação. Grupos 5 — ISO 17126. Resultados expressos em % de germinação. Grupos 5 — Metodologia proposta in «Zucconi, F., Pera, A., Forte, M. and de Bertoldi, M. (1981). Evaluating toxicity of immature compost. <i>BioCycle</i> , 22, 54-57». Resultados expressos em % de germinação.
Sementes e propágulos de infestantes	Grupos 5 — CEN/TC BT TF 151. Resultados expressos em n.º/L de amostra. Grupos 5 — ONORM S 2023 in «Analytic methods and quality control of compost (Austrian Standards Institute, 1996)». Resultados expressos em n.º/L de amostra.
Ácidos húmicos Ácidos fúlvicos Compostos húmicos	Grupo 3, 5 e 7 — Extração com pirofosfato de sódio ou hidróxido de sódio e determinação por EAM UV/VIS.

(1) Recomenda-se uma toma inicial mínima de 20 g de matéria fresca, diluição 1:5 ou 1:10 em solução estéril de NaCl 0,9 % e agitação a 150 rpm, a (5 ± 3) °C, durante o tempo necessário para que se obtenha a máxima homogeneidade possível.

Figura 30 - Quadro n.º 1 do anexo IV do artigo 40.º do Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de junho.

1.3.3 Parâmetros a monitorizar ao longo do processo de compostagem

Durante a compostagem existem parâmetros intrínsecos à meda, dependentes do tipo de mistura e maneo da mesma. O valor nutricional do composto, a humidade, a temperatura, o pH e outros parâmetros impostos por quem exerce esta prática tal como a forma, largura, altura, e metodologia de arejamento devem ser monitorizados ao longo do processo.

1.3.3.1 Forma, altura e largura

Quanto à forma ótima, deve ser projetada uma seção vertical triangular ou trapezoidal, sendo privilegiada a triangular caso os materiais a compostar sejam de fraca estrutura ou expostos a condições climáticas adversas como a pluviosidade e ventos fortes. A largura da meda deverá apresentar-se como o dobro da sua altura. Todavia estas características são impostas pela consistência da mistura de composto com que estamos a trabalhar, bem como pelos meios logísticos disponíveis para a realização da mesma tarefa, sendo determinantes na eficiência do processo oxidativo e na higienização do composto. A escala de produção de composto e o arejamento da meda são diretamente influenciados por estes parâmetros, definindo a geometria e a área de contato com O₂. A altura, largura e a forma da meda oscilam durante a compostagem, dependendo de fatores como o teor de humidade, o número de intervenções, processo de arejamento e a desproporcionalidade da distribuição e homogeneização de resíduos com características distintas durante o processo incorporativo.

1.3.3.2 Arejamento e influência sobre a digestão aeróbia e anaeróbia

O arejamento das medas é o principal método de controlo da temperatura, permitindo maior libertação de calor através da imensa libertação de vapor de água, subproduto das respirações aeróbia e anaeróbia, e da promoção de perdas por condução térmica entre o substrato e o meio externo. É também a prática que permite as condições de aerobiose do meio.

A concentração de O₂ no interior da pilha dever-se-á situar pelo menos entre os 5% e os 10% da mistura de gases. Esses valores estão dependentes da manutenção dos espaços intersticiais do substrato e da presença de ar, sendo necessário por vezes o

arejamento forçado das medas por insuflação ou sucção, ou por recurso ao volteamento. Em casos de deficiente arejamento, em que a concentração de O_2 é inferior à referida, a taxa de anaerobiose verificada no processo de compostagem é comprovada com a libertação de metabolitos como o CH_4 e o CO_2 em maiores concentrações e de H_2S em menores concentrações, fruto da atividade de baterias reductoras de sulfatos.

1.3.3.3 Temperatura

A evolução da temperatura numa meda depende da quantidade de calor produzida no seu interior e se essa supera as perdas térmicas por radiação, condução e evaporação de água (Figura 31). A temperatura na meda não deverá ultrapassar os $65^\circ C$, valor a partir do qual é afetada a maioria dos grupos taxonómicos com intervenção na compostagem e conseqüentemente a sua bioatividade. A temperatura é ainda um controlador natural do inóculo e desenvolvimento patogénico e de pragas.

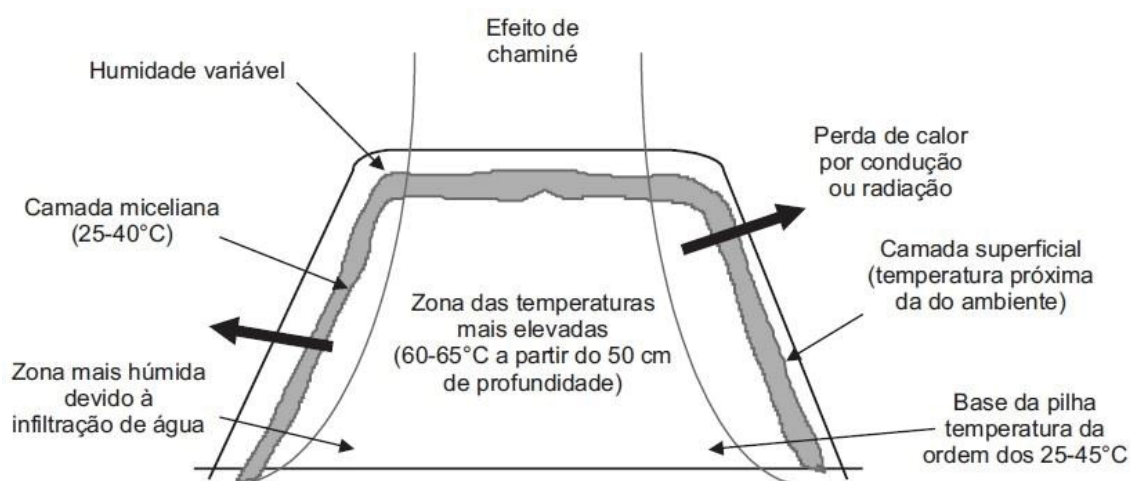


Figura 31 - Corte transversal de uma meda (Merillot 1995, SOGEA 1991).

1.3.3.4 Humidade

As necessidades hídricas são variáveis ao longo da maturação do composto, sendo a exigência maior durante a fase termófila quando a atividade microbiológica e a produção de calor ascendem de forma exponencial. A partir desta fase os índices de humidade são reduzidos, não devendo atingir valores abaixo dos 40% , evitando a redução da atividade microbiana que se faz sentir abaixo dos 30% e o seu cessar em níveis de 8 a 12% (Diaz *et al.*, 1993). Caso seja pretendida a reativação da atividade das

populações microbiológicas e incremento da atividade de compostagem da meda, será necessário recorrer ao aumento dos valores de humidade a partir da reidratação da meda.

A disponibilidade excessiva de água influencia diretamente o processo de compostagem ao diminuir o teor em O_2 e favorecer a anaerobiose. Além disso prejudica a manutenção da temperatura do composto, dada a elevada capacidade de transmissão calorífica da água.

1.3.3.5 pH e potencial oxidação-redução

A presença de digestão anaeróbia de resíduos pode originar problemas como o aumento de pH devido às oscilações no potencial de oxidação-redução da mistura, o qual atrasará consequentemente o processo de decomposição do composto.

Na presença de baixas concentrações de O_2 a decomposição da MO é realizada através da digestão anaeróbia, desenvolvendo-se em quatro etapas distintas: fase hidrolítica, onde ocorre a hidrólise enzimática de moléculas complexas (glúcidos, lípidos e prótidos) por microrganismos facultativos, que exercem o seu metabolismo tanto em condições aeróbias como anaeróbias, e que as transformam em moléculas mais simples e solúveis (açúcares, aminoácidos, ácidos gordos, etc.); fase acidogénica (acidogénese) caracterizada pela conversão de monómeros em ácidos orgânicos de baixo peso molecular (ex: ácido propiónico, valérico, láctico e butírico); fase acetogénica (acetogénese) em que a mistura complexa de ácidos é transformada em ácido acético com a libertação simultânea de dióxido de carbono e hidrogénio; e por último e de maior importância no processo de compostagem, a fase metanogénica (metanogénese), na qual existe a produção de metano, predominantemente pela transformação do ácido acético em metano e dióxido de carbono (Gonçalves, 2005).

Aumentando o arejamento da meda é possível evitar o processo fermentativo durante a fase metanogénica e manter o substrato a níveis próximos da alcalinidade devida à presença de compostos oxidados como nitritos e nitratos que inibem a atividade das bactérias metanogénicas, dada a sua atividade redutora na maior presença de oxigénio livre.

CAPÍTULO 2 – ENSAIO DA UTILIZAÇÃO DE COMPOSTO COMO FERTILIZANTE NA CULTURA DO MILHO

O ensaio reportado neste capítulo teve o seu início a 24 de abril de 2015, iniciando com a incorporação de composto no terreno, passando por etapas como a sementeira de milho, aplicação de fertilizantes químicos e colheita de unidades experimentais, acabando a 17 de agosto do mesmo ano. Este estudo visou a análise comparativa da produtividade do milho forrageiro ao ser exposto a doze modalidades nutricionais, diferenciadas ao nível da sua proveniência e constituição, repetidas quatro vezes, perfazendo um total de quarenta e oito unidades experimentais.

Entre as modalidades ensaiadas, em oito incorporaram-se compostos resultante da mistura de lamas de depuração de origem urbana (ETAR) e agroindustrial (da ETAR da fábrica de lacticínios da Pronicol) com ramagens, duas modalidades de composto apenas à base de ramagens (Ramagens) e duas modalidades com administração de adubos químicos de síntese (Sintética). A escolha e utilização destas modalidades teve por finalidade a fertilização do terreno com 75 kgN/ha e 150 kgN/ha. A diferença entre os dois índices anteriormente apresentados pressupõe a observação do comportamento da cultura quando exposta a diferentes níveis azotados e a possibilidade de serem encontradas diferenças significativas na execução das mesmas modalidades.

A determinação da razão C/N do composto permitiu a projeção e planeamento do ensaio de campo a partir do cálculo do teor azotado da mistura que se expressa como o principal fator a ter em consideração para superação de carências azotadas no desenvolvimento da cultura. Os adubos de síntese foram assumidos como controlo positivo.

2.1 Material e métodos

2.1.1 Identificação e caracterização das modalidades a ensaiar

Neste ensaio foram testadas doze modalidades distintas que foram identificadas e parametrizadas:

- Composição: composto orgânico ou adubo de síntese;
- Proveniência: Pronicol, ETAR, Ramagens e Sintética;
- Proporção massa/massa de lamas/ramagens no composto orgânico;

- Massa administrada em kgN/ha.

No quadro 3 estão discriminados os parâmetros e valores anteriormente enunciados:

Composto Orgânico		
Identificação da modalidade	Proveniência	Proporção peso fresco ramagens/peso fresco de lamias
1	Pronicol	1/1
2	ETAR	1/1
3	ETAR	3/1
4	Pronicol	2/1
5	Pronicol	1/1
6	ETAR	1/1
7	ETAR	3/1
8	Pronicol	2/1
9	Ramagens	0/1
10	Ramagens	0/1
Adubos químicos de síntese		
Identificação da modalidade	Proveniência	Proporção macronutricional N-P-K
11	Sintética	20-8-10
12	Sintética	20-8-10

Quadro 3 – Identificação e caracterização das modalidades ensaiadas.

2.1.2 Cultivar de milho ensaiada

A cultivar de milho ensaiada de denominação comercial DKC6040 é um híbrido simples de cariz forrageiro (Figura 32), prima pelo seu vigor e qualidade para a produção de silagem, com densidade média recomendada para os Açores de 90.000 plantas/ha. Cultivar semi-precoce (Índice FAO 500) de maturidade relativa intermédia (RM 115) (Figura 33) e uma TG de 99%, apresenta boa adaptação às temperaturas médias diárias da região.



Figura 32 - Cultivar de milho ensaiada com denominação comercial DCK6040 (Dekalb)

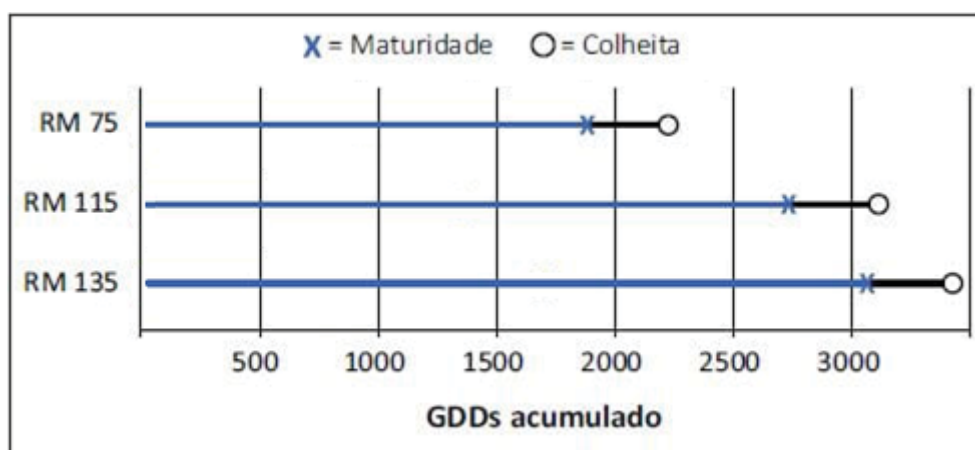


Figura 33 - Comparação relativa de híbridos de maturidade relativa (RM) 75, 115 e 135 GDDs acumulados e projeção de maturidade e colheita (PIONEER 2016).

2.1.3 Localização do ensaio

O ensaio decorreu num terreno de um produtor particular, com uma área total aproximada de 3600 m², localizado na freguesia de S. Pedro na ilha Terceira do arquipélago dos Açores, a uma altitude de 30 metros e a aproximadamente 270 m da orla marítima (Figura 34). Dada a proximidade ao mar, a zona sul do terreno é geralmente exposta a ventos fortes e a quebras de produtividade em condições climáticas adversas. Neste espaço é frequente a manutenção de gado bovino que durante o período Outono-Inverno pastoreia e se alimenta à base de azevém, silagem e ração, o que contribui para o incremento nutricional e orgânico do seu solo. Em finais do mês de abril são realizadas neste local sementeiras de milho forrageiro, cultura que nele permanece até ao mês de agosto/setembro e que é posteriormente colhida, sendo considerada um *output* neste ensaio.

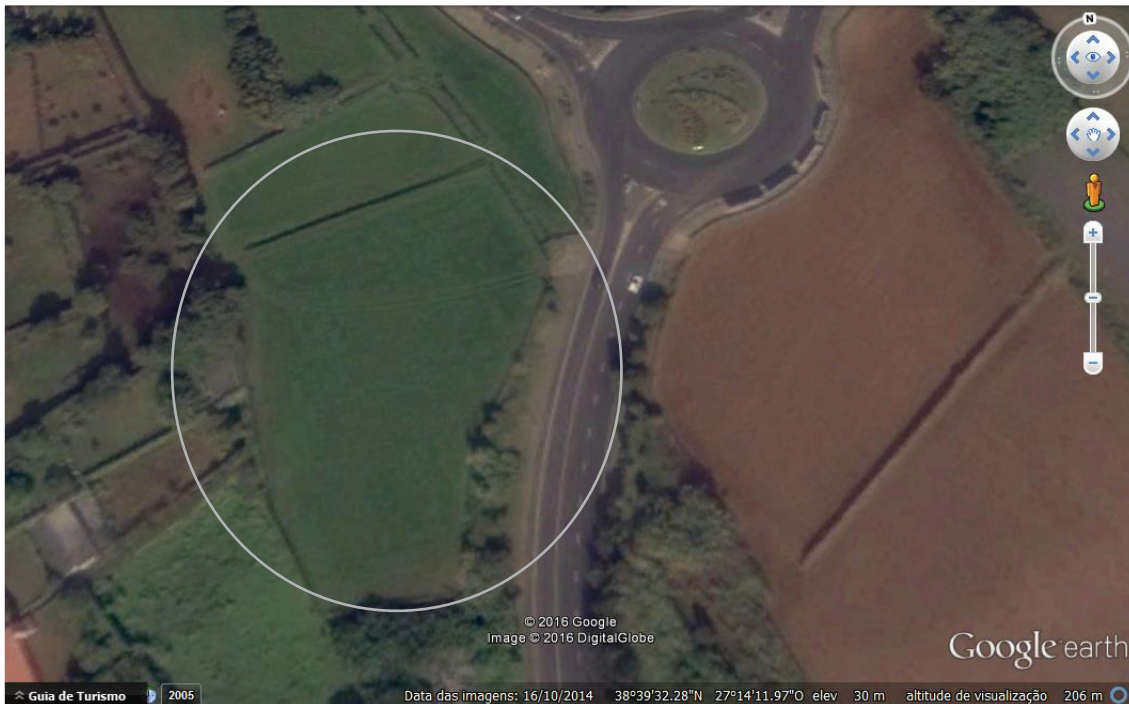


Figura 34 - Fotografia aérea do terreno onde foi realizado o ensaio (Google Earth)

2.1.4 Delineamento experimental do ensaio de campo

O ensaio da utilização de composto na cultura de milho teve por objetivo o suprimento das necessidades nutricionais do milho, tendo como referencial as necessidades de N, utilizando compostos orgânicos e adubo químico de síntese para avaliar o impacto de ambos na produtividade (Quadro 3). Para que fosse prosseguido o ensaio, foi necessária a escolha de uma área que permitisse a instalação de 46 unidades experimentais e a possibilidade da colheita de amostras representativas de milho, que proporcionassem a realização de uma análise de produtividade coerente com a realidade presente em campo.

A dimensão dos talhões dependeu das dimensões do terreno. Com a colaboração dos SMAH, foi possível fazer a projeção e o dimensionamento dos talhões em suporte digital (Figura 35), deixando-os com uma bordadura de largura relativamente constante e de pelo menos 8 metros. Tal permitiu minimizar o efeito de bordadura, que neste caso foi particularmente importante, dado que neste terreno foi aberta uma estrada há cerca de 20 anos que causou importantes movimentações do solo (Figura 34). Todas as medições feitas digitalmente foram posteriormente confirmadas *in situ*. Foi considerada uma área por talhão de 36 m², com um comprimento de 8 m e largura de 4,5 m.

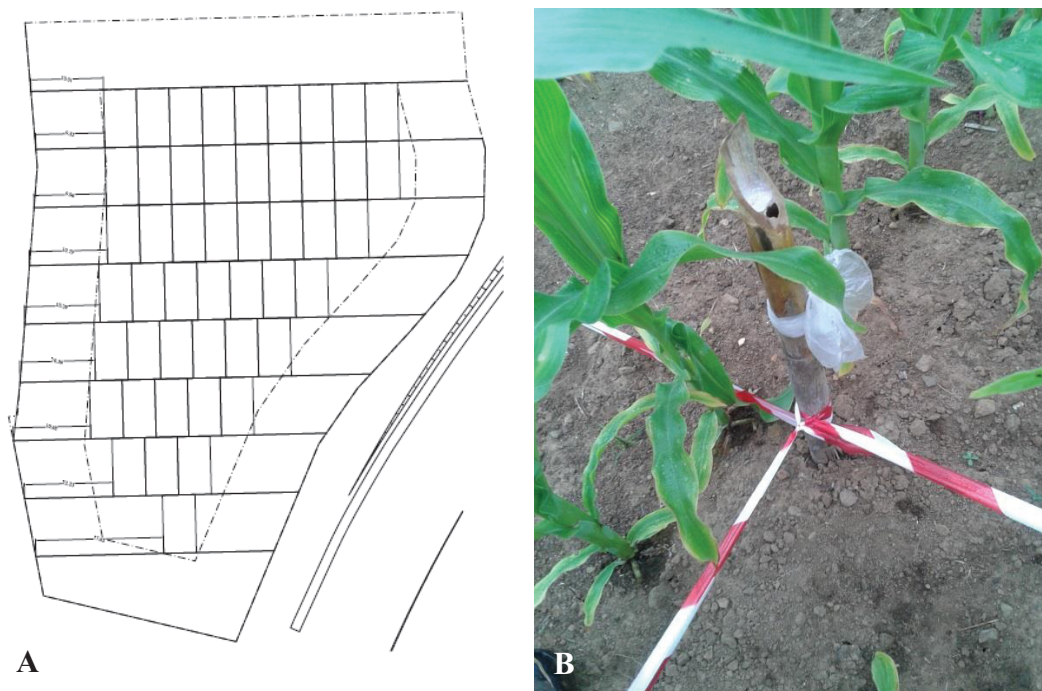


Figura 35 - A) Representação bidimensional da individualização de talhões no terreno; B) Método de limitação de talhões.

A delimitação dos talhões foi realizada através do recurso a uma fita métrica, estacas e fita sinalizadora que perduraram no terreno até à incorporação de composto, altura em que seriam retiradas, excepto as estacas orientadoras que foram montadas na periferia do terreno (essas permaneceram no terreno durante todo o ensaio). A reposição das estacas dos talhões foi feita após a sementeira (Figura 35), recorrendo às estacas orientadoras. Novas medições foram feitas para confirmar que não havia desvios significativos da marcação original (que orientou a deposição do composto) para a marcação que perdurou até ao fim do ensaio.

A distribuição das modalidades foi feita de forma aleatória, segundo o modelo de delineamento completamente casualizado (Figura 36). A identificação foi feita de acordo com a legenda presente na Figura 37.

A4 (1)	B9 (1)	C12 (1)	D10 (1)	E8 (1)	F6 (1)	G11 (1)	H3 (1)	I1 (1)
J12 (2)	K1 (2)	L3 (2)	M8 (2)	N4 (2)	O2 (1)	P5 (1)	Q7 (1)	R6 (2)
S2 (2)	T6 (3)	U7 (2)	V5 (2)	X9 (2)	Y12 (3)	Z10 (2)	AA4 (3)	
AB1 (3)	AC9 (3)	AD3 (3)	AE1 1(2)	AF5 (3)	AG8 (3)	AH7 (3)		
AI8 (4)	AJ11 (3)	AK1 (4)	AL1 0(3)	AM6 (4)	AN3 (4)			
AO1 0 (4)	AP7 (4)	AQ1 2 (4)	AR2 (3)	AS5 (4)				
	AT9 (4)	AU1 1 (4)	AV4 (4)					
		AX2 (4)						

Legenda de código/talhão
Letra – Identificação do talhão
Nº – Tratamento a que foi sujeito
(Nº) – Repetição a que se refere

Figura 36 - Esquema de identificação de talhões e de distribuição definitiva de modalidades ensaiadas.

2.1.5 Análises químicas do solo

Antes da realização do ensaio foi realizada a análise dos teores de MO, pH, P, K, Ca e Mg pelo Laboratório de Análises de Solos e Plantas da Universidade dos Açores. Para tal foi recolhida uma amostra composta resultante da colheita de solo de quatro sub-amostras (Figura 37 A) com o auxílio de uma sonda tipo helicoidal (Figura 37 B). A metodologia laboratorial utilizada para determinação de cada um dos parâmetros foi:

- Secagem em estufa a 51°C;
- Crivagem;
- Método da calcinação para a MO;
- Método de Olsen para o P;
- Determinação por extração com acetato de amónio e medição por absorção atómica para o K, Ca, Mg;
- Diluição em água para a determinação do pH.



Figura 37 - A) Imagem com pontos representativos das zonas de colheita; B) Sonda helicoidal utilizada para a recolha de amostras.

2.1.6 Cálculo de quantidades de fertilizantes a incorporar por talhão

Pela análise do composto efectuada num estudo anterior (Figura 8), determinou-se as quantidades a aplicar por unidade experimental e por área com o objectivo de providenciar 75 e 150 kg N/ha (Quadro 4).

Modalidade	Quantidade de fertilizante aplicada por unidade experimental (kg/talhão)	Quantidade de fertilizante aplicada por unidade de área (kg/ha)
1	43,5	11852,19
2	54,1	14363,50
3	48,5	13014,78
4	35,2	9553,80
5	86,8	23704,38
6	108,2	28727,00
7	97	26029,56
8	70,4	19107,61
9	66,86	18412,49
10	133,72	36824,98
11	1,35	375,00
12	2,70	750,00

Quadro 4 – Quantidade de fertilizantes incorporados por área e por unidade experimental.

Optou-se por ponderar o N para definir as quantidades de fertilizante a aplicar, por ser normalmente o nutriente mais abundante no composto e por ser o que maior efeito exerce no crescimento das plantas.

Como fertilizante químico foi escolhido o produto de denominação comercial NERGETIC C-PRO (Figura 38) representado pela ADP Fertilizantes. Este adubo de síntese apresentava-se como o mais indicado no mercado para este ensaio devido à maior semelhança na proporção em N:P:K relativamente aos compostos ensaiados (Figuras 8 e 38), bem como ao fato de ser de libertação lenta de todos os nutrientes (ADP Fertilizantes, 2013), o que tem algum paralelo com a sua libertação nos compostos.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS									
Adubo	Tecnologia C-PRO	Azoto (N)%				Fósforo (P ₂ O ₅)%	Potássio (K ₂ O)%	Magnésio (MgO)%	Enxofre (SO ₃)%
		Total	Nítrico	Amoniacal	Ureico				
18-8-6	✓	18	2,5	15,5	-	8	6	-	25
20-8-10	✓	20	-	5	15	8	10	-	9
20-17-0	✓	20	-	7,5	12,5	17	-	-	10
25-5-0	✓	25	-	5	20	5	-	-	15
30	✓	30	-	12	18	-	-	2	25
37	✓	37	-	6	31	-	-	2	15

Os adubos Nergetic (com exceção do 30 e do 37) contêm na sua composição cálcio (CaO total) entre 2 e 10%. Para mais informações consulte o promotor ADP.

Figura 38 - Descrição e caracterização técnica de NERGETIC C-PRO (ADP Fertilizantes 2013).

No caso da fertilização química, das duas dotações, a única que se encontra segundo as recomendações da ADP Fertilizantes (600-1400 kg de adubo por ha.) é a de 150 kgN/ha, que corresponde a 750 kg de adubo por ha. A administração de 75 kgN/ha serviu para determinar a resposta produtiva da cultura para um nível de fertilização reduzido para metade.

As quantidades de nutrientes providenciadas por todas as fertilizações foram as seguintes (Quadro 5):

As quantidades de N, como foram deliberadamente ponderadas para determinar a quantidade de fertilizante a aplicar, apenas foram aplicadas em dois níveis, 75 e 150 kg/ha. Porém, as quantidades dos restantes nutrientes tiveram variações entre tratamentos devido às diferenças do teor e origem das lamas incorporadas, à variabilidade de composição das ramagens e a processos diferenciados de compostagem pelos quais passaram (Souto 2015). No caso do P, os compostos normalmente

providenciaram maiores quantidades do que os adubos químicos de síntese, enquanto que no caso do K deu-se o contrário. Quanto ao Ca e Mg, com base na informação da ADP Fertilizantes, como estes valores são residuais ou não se encontram discriminados no fertilizante químico de síntese, isto faz-nos crer que qualquer um dos compostos providenciou-os em maior quantidade.

Kg de nutriente incorporado/modalidade	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)
1	75	23,26	14,11	55,70	9,63
2	75	33,46	19,39	80,30	14,72
3	75	20,23	37,13	63,86	12,06
4	75	17,02	24,80	49,59	9,75
5	150	46,52	28,22	111,39	19,26
6	150	66,91	38,79	160,61	29,45
7	150	40,47	74,25	127,71	24,11
8	150	34,03	49,60	99,17	19,50
9	75	25,61	40,01	71,63	16,75
10	150	51,21	80,02	143,27	33,50
11	75	13,10	31,11	-	-
12	150	26,20	62,23	-	-

Quadro 5 – Quantidade de nutrientes providenciada por todas as modalidades de fertilização.

2.1.7 Mobilização de solo, aplicação e incorporação de composto e herbicida

A mobilização de solo que antecedeu à instalação do ensaio consistiu numa lavoura, seguida da mobilização superficial através da passagem de uma fresa.

A aplicação do composto no terreno foi realizada manualmente um dia antes da sementeira. Como os talhões estavam distribuídos aleatoriamente, a aplicação do composto teve de fazer-se manualmente e a sua distribuição no solo foi feita com ancinho e enxada (Figura 39).



Figura 39 – A) Vista geral do ensaio aquando da aplicação do composto; B) Aplicação e distribuição de composto; C) Efeito visual da distribuição de modalidades após distribuição de composto; D) Homogeneidade na distribuição de por unidade experimental.

Após a aplicação do composto, aplicou-se um herbicida de pré-emergência à base de mesotriona, S-metolaclo e terbutilazina e de seguida fez-se uma segunda passagem de fresa para a incorporação de ambos. No dia seguinte, procedeu-se à sementeira.

2.1.8 Sementeira

Realizou-se a sementeira no dia 25 de abril de 2015 com o auxílio de um semeador de precisão de 4 linhas com um distanciamento entrelinha de 0,75 m e espaçamento na linha de 0,195 m, com rodas de compactação traseiras. À alfaia encontrava-se acoplado um adubador, mas que apenas actuou nas bordaduras, dado que nos talhões a fertilização tinha demasiadas modalidades diferentes para ser mecanizada e não se fez fertilização química nas modalidades onde se aplicou composto.

Mediante a sementeira descrita, o número médio de indivíduos esperados por ha, considerando a TG de 99%, seria de 67692. Numa área total de ensaio de 1728 m² respeitante a 48 unidades experimentais, a expectativa seria de um total de 11697 indivíduos neste ensaio, perfazendo uma média por talhão de 244 plantas.



Figura 40 - Visão traseira (A) e lateral (B) do semeador de precisão.

2.1.9 Aplicação e incorporação de adubo químico de síntese

Devido à impossibilidade prática de efectuar a adubação química de síntese à sementeira nas modalidades 11 e 12, houve a necessidade de a realizar manualmente, aplicando em linhas junto às plantas a 20 de maio de 2015 (cerca de três semanas após a emergência, 25 dias após a sementeira) e cobrindo-a com enxada ou ancinho (Figura 41).

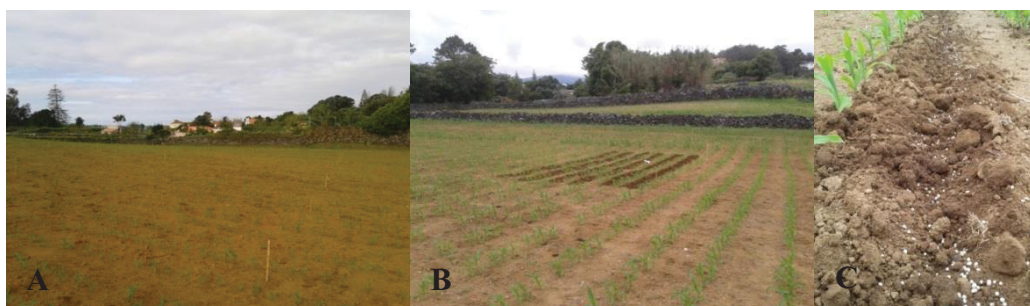


Figura 41 - A) Campo semeado 26 dias após sementeira; B) Abertura de regos paralelos às linhas de sementeira; C) Regos após adubação.

2.1.10 Acompanhamento da evolução do ensaio

Durante o ensaio foi feito o acompanhamento do desenvolvimento e crescimento da cultura e registadas em fotografia as diferenças de vigor e coloração apresentadas nas unidades experimentais e periferia. Também se avaliou a presença de pragas, que no geral não constituíram um problema para este ensaio.

2.1.11 Colheita de amostras de solo por talhão

No final do ciclo cultural do milho (Estádio R4) foi procedida a recolha de amostras em todos os talhões e à sua identificação. As amostras recolhidas foram processadas e analisadas de acordo com os procedimentos usados antes do ensaio.



Figura 42 - Preparação de amostras.

2.1.12 Colheita do ensaio

Esta tarefa incidiu na colheita e pesagem do peso fresco de duas linhas centrais de cada talhão, com quatro metros cada, excluindo por isso as linhas periféricas. Esta atenção preveniu a influência das modalidades circundantes.

Como material auxiliar a esta prática utilizou-se:

- Régua de madeira de 4 m;
- Fita métrica de 2 m;
- Catana;
- Balança;
- Tripé;
- Esteira de pano;
- Tesoura de poda;
- Sacos pequenos de pano.

Na colheita foram registados os seguintes dados:

- Distância entre linhas;
- Número de plantas por linha;
- Produção em peso fresco.

A medição da produção em peso fresco foi realizada a partir da utilização, em campo, de um tripé com balança e de uma esteira de pano, onde eram colocadas as

amostras colhidas e foram anotados os valores de cada pesagem. Calculou-se a área de solo donde foi colhida a amostra com base no comprimento da régua e da distância entrelinha média das duas linhas colhidas (três entrelinhas). A conjugação dos dados de produção com a área respectiva deu-nos o cálculo da produtividade em peso fresco. Finalizada a pesagem, foram separados e cortadas em troços inferiores a 20 cm duas plantas por talhão que foram colocadas em sacos de pano.

Concluída a recolha de amostras, estas foram mantidas nos sacos e colocadas em estufa para secagem a uma temperatura de 51°C durante 1 mês (até o peso estabilizar). De seguida foi feita a pesagem do saco onde se encontrava todo material vegetal e registado o seu valor, pesou-se o saco de cada amostra e pesou-se o grão depois de debulhado das massarocas presentes em cada saco.

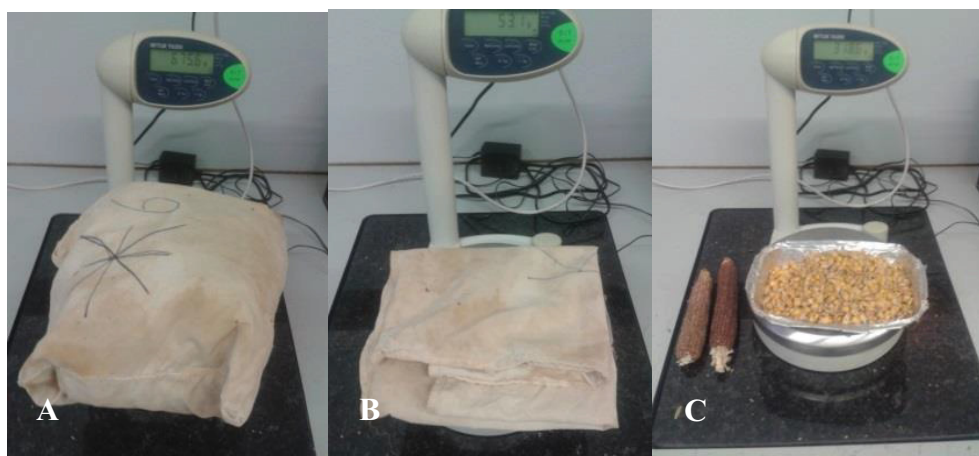


Figura 43 - A) Pesagem total de duas plantas de milho mais saco de pano; B) Pesagem de saco de pano; C) Pesagem de grão.

2.2 Resultados e discussão

2.2.1 Acompanhamento e evolução do ensaio

O ensaio foi acompanhado e registado fotograficamente ao longo de 118 dias. Ao longo deste período foi notória uma diferença de vigor e coloração entre a zona de bordadura e a de ensaio.

Aos 46 dias, as plantas da bordadura eram mais altas e com cor mais escura, o que se interpreta como tendo beneficiado de fertilização química no acto da sementeira, enquanto que nas modalidades ensaiadas, seja pela libertação mais lenta dos nutrientes do composto, como por só se ter fertilizado quimicamente nas modalidades 11 e 12 quase quatro semanas após a sementeira, a disponibilidade de nutrientes para estas

plantas deve ter sido notoriamente inferior nesse período. A altura máxima das plantas foi de 1 m, encontrando-se a maioria delas com altura inferior a 0,75 m, sendo a região sul e sudeste do ensaio a que apresentava as plantas mais baixas.

O registo ao final de 59 dias após sementeira foi de uma altura máxima de 1,60 m, tendo-se mantido aparentemente as diferenças relativas do porte das plantas.

Ao dia 78 a maioria das plantas já se encontrava na fase reprodutiva com a presença de panículas e em alguns casos de sedas, a variação de alturas oscilava entre os 1,2 m a sul do terreno e os 1,75 m em zona pontuais do terreno.

Entre o dia 81 e o dia 118 as plantas atingiram a altura máxima, ultrapassando os 2 m e, de forma geral, atingiram o estágio R4. A região sul e sudeste foi a que apresentou maiores problemas ao longo de todo o ensaio.



Figura 44 - Acompanhamento do ensaio e registo de evolução da cultura: A) Dia 26; B) Dia 46; C) Dia 59; D) Dia 78; E) Dia 81; e F) Dia 118.

2.2.2 Análise comparativa de produtividade

Relativamente à produtividade de milho forrageiro, foi determinada a produção de biomassa e grão em MS total a partir do tratamento dos dados resultantes da análise das amostras colhidas.

2.2.2.1 Produtividade de biomassa em MS total

Apurados os valores médios da produtividade de biomassa em MS total de cada modalidade ensaiada (Quadro 6), verifica-se que, independentemente do tratamento, não existem diferenças significativas nos resultados ($p = 0,45$). As produtividades foram baixas em todas as modalidades, sendo notório nas plantas os efeitos do stress hídrico, devido ao enrolamento das folhas nas horas de maior calor a partir de julho e a senescência prematura e generalizada dos tecidos, nomeadamente das plantas que se localizavam na zona sul e sudeste do terreno, apesar das plantas ainda estarem no estágio R4. Embora a sementeira se tenha efectuado em data apropriada e se tenha mobilizado o solo corretamente, como a densidade de plantas foi tão baixa e o solo provavelmente tem uma capacidade de retenção de água limitante para as condições climáticas desta zona, a produtividade foi comprometida em todas as modalidades.

O efeito de acréscimo de dotação de fertilizante foi aparentemente benéfico para todas as modalidades (mesmo com diferenças não significativas), excepto no composto Pronicol 1:1 que, por razões que não conseguimos explicar, produziu um pouco mais na modalidade 1 (75 kg N/ha) do que a modalidade 5 (150 kg/ha). Na modalidade 1 houve uma repetição com produtividade excepcionalmente elevada (18389,03 kg/ha), o que contribuiu muito para aumentar a média desta modalidade. As razões de tal repetição se ter destacado tanto das demais não são compreendidas, mas a análise estatística não a identificou como *outlier*.

Modalidade	Repetição				Média	Desvio Padrão
	1	2	3	4		
1	11914,40	18389,03	11426,91	10814,10	13136,11	3530,76
2	11013,76	13244,87	10662,19	8682,46	10900,82	1869,53
3	12664,75	13737,70	10542,65	9592,79	11634,47	1901,36
4	8569,03	10618,71	12615,74	7806,63	9902,53	2163,75
5	9796,02	12703,01	9813,02	10714,11	10756,54	1366,67
6	10711,73	13736,75	18354,13	12610,75	13853,34	3249,84
7	14808,09	14928,62	8351,19	12212,07	12574,99	3082,12
8	11182,27	13374,73	7708,96	12103,37	11092,33	2428,09
9	13754,51	10688,93	11001,00	11147,66	11648,02	1417,29
10	13151,79	10447,65	10631,34	12660,97	11722,94	1383,17
11	13875,72	11184,38	11135,56	11360,42	11889,02	1327,98
12	16823,11	12172,59	11425,72	12833,85	13313,82	2409,21

Quadro 5 - Produção de total de biomassa(kg/ha) por modalidade ensaiada e respectiva média e desvio padrão (diferenças não significativas $p = 0,45$).

A modalidade 6 (distribuição de 150 kgN/ha de mistura de ramagens e lamas da ETAR à proporção 1:1) foi a que revelou maior produtividade média de biomassa em MS total, apresentando valores de 13853 kg/ha, enquanto que a modalidade 4 (distribuição de 75 kgN/ha de mistura de ramagens e lamas da Pronicol à proporção 2:1) ficou-se apenas pelos 9902,53 kg/ha.

Estes dados também nos surpreenderam pelas ramagens (modalidades 9 e 10) apresentarem níveis de produtividade médios, situando-se até muito próximas da modalidade 11 (sintético 75 kg/ha). Na análise de vigor das plantas, especialmente nos primeiros dois meses, estas apresentavam-se cloróticas, como se havendo uma mobilização temporária de N, o que até era expectável, dada a elevada razão C/N que este composto apresentou. Como se percebe, estas plantas a prazo recuperaram, ao ponto de não verem a sua produtividade ser inferior às outras modalidades.

Algumas repetições apresentaram produtividades muito baixas, nomeadamente as que se localizavam na zona sul e sudeste do ensaio. Esta foi uma circunstância que não se pôde antecipar e que provavelmente se deveu a uma capacidade limitada de retenção de água, porque essas plantas começaram a secar mais precocemente do que as demais, mesmo que tenham tido uma evolução dos estágios fenológicos idêntica às das plantas de outras zonas dos ensaios. Como já foi referido anteriormente, esta parcela deve ter sofrido movimentações de terras aquando da obra da circular de Angra ou então a sua espessura nesta zona poderá ser inferior, podendo assim ter contribuído para a perda de produtividade das plantas que aí cresceram.

2.2.2.2 Produtividade de grão em MS

A produtividade de grão (Quadro 6) não variou significativamente entre as modalidades ensaiadas ($p = 0,33$). Estes valores têm algum paralelismo com os da MS total, o que denota que o índice de colheita era relativamente idêntico entre as modalidades ensaiadas (variou entre 41,8% e 51,0%). Como tal, o efeito de duplicação da quantidade de fertilizante trouxe algum benefício à produtividade, excepto na modalidade 1 relativamente à modalidade 5 (Pronicol 1:1 a 75 e 150 kg/ha, respectivamente). No geral a produtividade em grão foi baixa, sendo as causas anteriormente apontadas as que provavelmente causaram este efeito. É de notar que esta é uma cultivar forrageira, por isso à priori com um índice de colheita mais baixo, mas mesmo em algumas modalidades foi inferior a 45%, o que é insuficiente.

Modalidade	Repetição				Média	Desvio Padrão	Índice de Colheita Médio
	1	2	3	4			
1	5286,98	9411,64	5059	5390,36	6286,99	2087,69	0,48
2	4511,99	6454,94	4662,46	4034,98	4916,09	1060,19	0,45
3	5823,8	7305,94	4742,98	4404,8	5569,38	1306,34	0,48
4	3961,22	5008,53	5274,62	3507,29	4437,91	840,43	0,45
5	4777,23	5714,22	3940,08	5333,5	4941,25	770,41	0,46
6	5177,39	6124,55	9738,27	5622,22	6665,61	2084,66	0,48
7	7033,29	7833,36	3225,21	5755,38	5961,81	2015,14	0,47
8	3428,84	6277,57	3285,93	5715,3	4676,91	1541,95	0,42
9	6694,86	4266	4669,66	4025,25	4913,94	1216,68	0,42
10	6639,89	4297,81	4895,54	5817,62	5412,71	1029,62	0,46
11	7317,92	5128,55	5162,48	5027,39	5659,09	1107,38	0,48
12	8641,28	6477,16	5445,07	6663,73	6806,81	1335,26	0,51

Quadro 6 – Produção de grão(kg/ha) por modalidade ensaiada e respectiva média, desvio padrão e índice de colheita (valores não significativos $p = 0,33$).

A modalidade 12 (distribuição de 150 kgN/ha de adubo químico de síntese) foi a que apresentou maiores valores médios de produtividade de grão, enquanto que a modalidade 4 (distribuição de 75 kgN/ha mistura de ramagens e lamas da Pronicol à proporção 2:1) foi a que apresentou a média mais baixa.

2.2.3 Análises químicas de solo antes e após o ensaio

Os dados obtidos após a análise da amostra recolhida anteriormente ao ensaio encontram-se expostos no quadro 7. Verificou-se que o teor de MO era alto, tendo em conta a localização deste terreno e por nele se praticar anualmente a rotação milho – erva castelhana (*Lolium multiflorum* Lam), pouco ácido, os níveis de P, Ca e Mg eram muito altos, enquanto que os níveis de K eram altos.

%MO	pH	P (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)
6,62	5,9	68	130	2346	477

Quadro 7 - Valores referentes à análise de solo realizada antes do ensaio.

Foram analisadas de igual forma amostras recolhidas após o ensaio para posterior correlação com os valores de produtividade de cada modalidade. Os valores da análise das 48 amostras estão dispostos no quadro 8.

Modalidades	Repetições	pH	% MO	P	K	Mg	Ca
1	1	6,38	7,68	127,29	198,6	349,3	1979
	2	6,54	5,68	162,11	180,6	458,5	1969
	3	6,74	6,32	150,45	107,2	530,1	2202
	4	6,44	5,77	126,31	116,7	439,7	1905,5
	Média	6,53	6,36	141,54	150,78	444,40	2013,88
2	1	6,67	7,00	122,62	99,4	535,5	2339
	2	6,67	5,95	120,05	135,8	400,4	1897,8
	3	6,61	5,30	114,93	116,9	459,2	1962,6
	4	6,65	5,68	145,29	145,5	542,9	2050,9
	Média	6,65	5,98	125,72	124,40	484,50	2062,58
3	1	6,43	6,81	59,28	188,7	449,5	2184,3
	2	6,39	6,15	134,21	95,8	465,7	1950
	3	6,66	6,85	145,39	110,9	575,2	2315,9
	4	6,78	5,25	105,82	225,6	544,4	2160,6
	Média	6,57	6,26	111,18	155,25	508,70	2152,70
4	1	6,43	5,56	72,65	184,2	423,5	1962,5
	2	6,67	4,81	139,31	117,5	454,6	2050
	3	6,62	6,11	138,4	137,9	538,7	2263,6
	4	6,65	5,82	130,43	153,5	475,2	2238,4
	Média	6,59	5,58	120,20	148,28	473,00	2128,63
5	1	6,63	7,04	126,42	117,5	475,7	2108,7
	2	6,72	5,75	110,9	100,9	515,4	2109,8
	3	6,81	6,05	115,39	83,3	669,9	2368,5
	4	6,59	5,02	103,7	167,8	446,1	2001,7
	Média	6,69	5,96	114,10	117,38	526,78	2147,18
6	1	6,47	6,57	79,03	134,8	449,8	2164,5
	2	6,36	7,51	156,03	183,5	427,9	2117,9
	3	6,54	6,40	167,68	205,7	588,5	2230,2
	4	6,73	5,57	98,36	138,4	554,7	2189,4
	Média	6,53	6,51	125,28	165,60	505,23	2175,50
7	1	6,47	7,35	115,77	141,8	469,3	2149,3
	2	6,53	6,46	135,37	124,9	497,5	2076,9
	3	6,88	6,29	121,39	109,7	741,3	2491,3
	4	6,67	5,48	117,22	95,7	511,5	2084,2
	Média	6,64	6,40	122,44	118,03	554,90	2200,43

Quadro 8 - Valores referentes à análise de solo realizada para posterior implementação do ensaio da utilização de composto na cultura de milho.

Modalidades	Repetições.	pH	% MO	P	K	Mg	Ca
8	1	6,45	5,76	67,07	144,3	479,9	2176,1
	2	6,58	6,86	125,59	135,7	510,7	2134,2
	3	6,86	6,09	130,5	100,9	703,9	2356,1
	4	6,86	6,45	157,65	129,7	619,4	2329,1
	Média	6,69	6,29	120,20	127,65	578,48	2248,88
9	1	6,39	5,86	93,54	165,6	427,5	2104,2
	2	6,75	6,76	100,96	99,5	516,6	2233,9
	3	6,74	7,48	121,37	107	568,5	2099,6
	4	6,6	5,83	118,91	153,8	422,2	1994,3
	Média	6,62	6,48	108,70	131,48	483,70	2108,00
10	1	6,52	6,36	63,35	146,9	432,2	2053,1
	2	6,8	6,26	127,87	118,1	595,8	2250,4
	3	6,73	5,70	127,05	186	581,6	2241,6
	4	6,84	6,53	152,59	123,5	501,9	2060,3
	Média	6,72	6,21	117,72	143,63	527,88	2151,35
11	1	6,42	6,78	74,36	104,3	460,4	2104,9
	2	6,63	4,83	118,39	93,6	527,9	2234,2
	3	6,55	5,88	159,35	120,6	607,1	2351,6
	4	6,45	5,64	149,62	136,2	444,8	2078,3
	Média	6,51	5,77	126,31	116,7	439,7	1905,5
12	1	6,2	5,47	93,59	184,2	439,9	1977,8
	2	6,48	6,05	120,53	108,2	363,5	1923,4
	3	6,65	6,34	110,77	78,4	555,2	2309,8
	4	6,33	5,30	112,68	151,4	463,1	2080,9
	Média	6,42	5,77	126,31	116,7	439,7	1905,5

Quadro 8 (continuação) - Valores referentes à análise de solo realizada para posterior implementação do ensaio da utilização de composto na cultura de milho.

Comparando os resultados das análises de solo após o ensaio com os resultados antes do ensaio, o pH subiu, mesmo nas modalidades fertilizadas quimicamente, a MO e o K mantiveram-se equivalentes, o P quase duplicou, o magnésio subiu ligeiramente e o Ca decresceu ligeiramente. Quanto ao acréscimo do pH, por ter sido generalizado a todas as modalidades, não se pode atribuir uma causa específica para esta diferença. Quanto à MO, apesar de se adicionarem quantidades relevantes de composto, estas não foram suficientes para numa só estação de crescimento ter impacto nos seus níveis. A isso acresce que o composto, uma vez incorporado no solo, terá de passar por um processo de humificação, que leva tempo, o que provavelmente terá também

contribuído para não se fazer sentir à data da segunda colheita de análises variações significativas no teor de MO.

Os teores de P no solo aumentaram em todas as modalidades (Quadro 8), o que é sintomático do relativamente alto teor deste nutriente em todos fertilizantes (Figura 8), acrescido pela provável alta taxa de fixação no solo durante este período cultural. É de notar que os compostos feitos à base de lamas e ramagens tinham teores mais elevados deste nutriente, por causa das lamas (Figura 7). Apesar disso, os níveis de P depois do ensaio pouco variaram entre as diversas modalidades.

Os níveis de K mantiveram-se equivalentes antes e depois do ensaio, provavelmente por os seus teores não serem tão altos na maioria dos fertilizantes (Figura 8), como de provavelmente haver pouca fixação deste nutriente no solo. As variações de cálcio e magnésio foram pequenas, sendo que as de magnésio foram tendencialmente crescentes, enquanto que as de cálcio foram ligeiramente decrescentes. Os teores de magnésio no solo são mais baixos do que os do cálcio (Quadros 7 e 8), pelo que será de esperar que sofra maiores variações como consequência das fertilizações.

Como neste ensaio se optou por normalizar as quantidades de fertilizantes pelos níveis de N, os efeitos na produtividade divergiram pouco. No caso dos compostos exclusivamente à base de ramagens (modalidades 9 e 10), as quantidades aplicadas por unidade de área foram muito superiores aos demais (Quadro 4), enquanto que as quantidades de fertilizantes químicos de sínteses foram as mais baixas (como seria de esperar). Com isto conseguiu-se também deixar os solos com níveis de fertilidade muito bons para a cultura seguinte, o que dá excelentes indicações para a utilização destes compostos na agricultura. É de realçar que apenas se ensaiou um período cultural, mas que seria interessante fazer um estudo mais longo para considerar o efeito residual de tais fertilizações, o que, pelos dados existentes, poderá ser muito benéfico para a maioria das culturas.

2.3 Conclusões

A utilização de compostos de mistura de resíduos vegetais e industriais revelou-se como uma boa alternativa à utilização de adubos químicos de síntese, no que diz respeito à produtividade de biomassa. No que concerne à produção de grão, o adubo químico de síntese foi a fonte nutricional que deu maiores produtividades, apesar de não terem havido diferenças significativas entre qualquer uma das modalidades ensaiadas.

A duplicação da dose de composto e de adubo químico de síntese trouxe na maioria das modalidades algum incremento na produtividade, excepto num caso. Porém em caso algum esses incrementos foram significativos.

O efeito da aplicação dos compostos na fertilidade do solo foi positiva em todas as modalidades, sendo que até os compostos menos ricos, como se normalizou a quantidade aplicada por unidade de área pelo teor de N, também deram resultados muito positivos.

Verificou-se que a variabilidade accidental do terreno sobrepôs-se recorrentemente aos efeitos das modalidades ensaiadas na produtividade de biomassa e de grão, possivelmente devido ao facto da zona sul e sudeste do terreno ter sido alvo de movimentações de terra num passado próximo, devido à abertura duma estrada neste terreno, e de haver barreiras físicas a oeste que possibilitaram a proteção de ventos predominantes.

Apesar das produções obtidas não indicarem preferência na utilização de um tratamento em particular, em sistemas em que grande parte do material vegetal é exportado, a utilização de fontes nutricionais orgânicas, para além de promover o incremento do teor orgânico do solo, pode contribuir para produtividades idênticas às encontradas na utilização de adubos químicos de síntese. Assim sendo, no que diz respeito à preservação ecológica do solo, a utilização de composto revela-se uma mais-valia como fonte nutricional para as culturas.

CAPÍTULO 3 – ENSAIO DE COMPOSTAGEM À ESCALA INDUSTRIAL

Este ensaio consistiu na produção de composto à escala industrial utilizando ramagens verdes e de lamas de depuração provenientes da indústria de laticínios. Foi realizada a mistura dos resíduos à proporção de 1:1 em peso fresco, com o auxílio de uma volteadora com os objectivos de homogeneização e arejamento do composto. A escolha da proporção dos resíduos a incorporar partiu da necessidade da sua gestão na Teramb, porque esta empresa recebe-os em proporções quase equivalentes, e por se ter a informação dum estudo de compostagem anterior (Souto 2015), bem como do ensaio de campo (Capítulo 2), que o valor agronómico desta proporção é benéfica para as culturas.

Construídas as medas, acompanhou-se a maturação do composto e monitorizou-se neste período experimental o seu valor nutricional (N total, N nítrico, N amoniacal, C, P, K, Mg, Ca, Na teor de MO, MS e cinzas totais), teor de humidade, CE, relação C/N, temperatura, pH e emissões gasosas (CH₄, O₂, H₂S e CO₂).

Inicialmente foram construídas duas medas, meda 1 e 2, com o propósito de aperfeiçoar o processo de compostagem no que concerne à metodologia de trabalho e à forma, largura, altura e arejamento da meda. Mais tarde surgiram as medas 3, 4 e 5 estrutural e texturalmente idênticas, com metodologia de trabalho definida por forma a não enviesar os resultados obtidos e representar o processo de compostagem. O ensaio recaiu assim sobre estas três últimas medas durante um período aproximado de quatro meses.

3.1 Material e métodos

3.1.1 Modalidade de composto a ensaiar

Num ensaio experimental ao ar livre foram construídas medas à escala 1:1, com proporções em peso fresco equivalente de ramagens e lamas da Pronicol. As quantidades volumétricas de lamas e ramagens a dosear foram calculadas a partir da transposição da massa e densidade para volume. Para tal foram efetuadas pesagens de ramagens trituradas em caixas de transporte de resíduos (caixa de caracterização de resíduos, Figura 45 A) e de lamas (caixa de camião de transporte de lamas, Figura 45 B), medidas previamente.

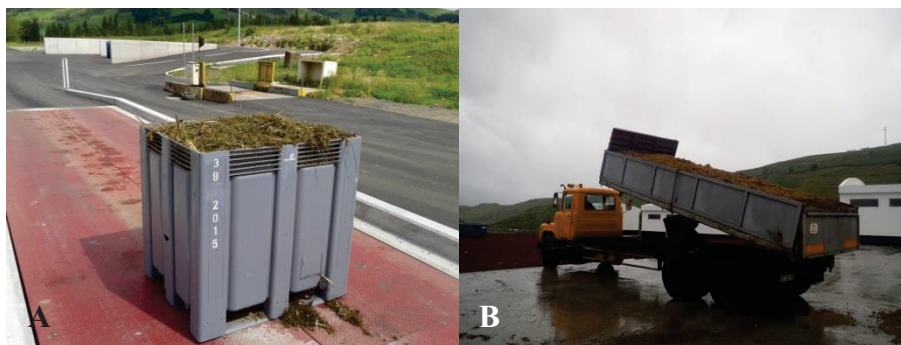


Figura 45– Caixa de caracterização de resíduos (A) e caixa de camião de transporte de lamas(B)

Parâmetro	Ramagens	Lamas
Massa, m (ton)	0,41	9,4
Volume, V (m ³)	1,12	12,6
Densidade, d (ton/m ³) $d = \frac{m}{V}$	0,36	0,75

Quadro 9 – Valores de massa, volume e densidade de ramagens e lamas.

De seguida foi procedido ao depósito de ramagens e lamas em proporções volumétricas de 2:1, respetivamente, empilhadas num total de três camadas alternadas em cada meda, seguidamente misturadas com o auxílio de uma volteadora industrial (Figura 46).



Figura 46 – Medas de composto em volteamento.

3.1.2 Localização do ensaio

O ensaio (com acompanhamento *in loco*) decorreu desde julho até novembro de 2016, e realizou-se no parque da CVO (Central de Valorização Orgânica) da Teramb, sito ao Aterro Sanitário Intermunicipal da Ilha Terceira, Biscoito da Achada, coordenadas 38°40'50.40''N e 27°10'42.47''O, a uma altitude de 332 metros.



Figura 47 - A) Vista de cima do parque da CVO, B) Fotografia aérea Google Earth, © 2016 Google.

3.1.3 Equipamento auxiliar à compostagem e à monitorização do processo

Nesta operação foram utilizados os equipamentos de transporte, mobilização, monitorização e tratamento laboratorial de ramagens, lamas e composto, apresentados e descritos no Quadro 10:

Construção de medas		
Equipamento	Figura	Funcionalidade
Pá carregadora		Transporte de ramagens, lamas e composto
Volteadora		Mistura/volteamento do composto

Quadro 10 – Equipamento utilizado na produção e monitorização da evolução do composto.

Construção de medas		
Equipamento	Figura	Funcionalidade
Triturador		Fragmentação de ramagens em dimensões geralmente inferiores a 50 mm
Monitorização de temperatura, humidade e emissão gasosa		
Equipamento	Figura	Funcionalidade
Estufa		Secagem de amostras
Medidor de biogás		Monitorização de gases provenientes da aerobiose e anaerobiose ocorrentes durante a compostagem
Termómetro equipado com sonda de 50 cm		Monitorização de temperatura do composto <i>in situ</i>

Quadro 11 (Continuação) – Equipamento utilizado na produção e monitorização da evolução do composto.

3.2 Delineamento experimental

Para este estudo foram construídas três medas de ramagens e lamas com 30 a 36 m de comprimento, largura de 2,5 a 3 m, sendo cada meda uma repetição do ensaio. Dividiu-se cada meda em 5 sectores de igual comprimento e foram recolhidos dados da compostagem e de monitorização apenas nos 3 sectores do meio da meda, dado que os das extremas eram muito afetados na sua geometria pelo trabalho da volteadora. Cada repetição resultou da agregação de 3 sub-amostras ou 3 sub-análises obtidas aleatoriamente em cada um dos sectores intermédios; ou seja, para cada data, colheram-se 9 sub-amostras ou fizeram-se 9 sub-análises que conjugadas resultaram em 3 repetições. Deste modo assegurou-se uma elevada representatividade das repetições. Analisou-se localmente a geometria das medas (largura e altura), a temperatura e

emissões de CH₄, O₂, H₂S e CO₂. Laboratorialmente foram analisados os teores de cinzas totais, MS, MO, C, N total, N nítrico, N amoniacal, P, K, Mg, Ca, Na, pH e condutividade elétrica.

3.2.1 Procedimentos de monitorização, de recolha e preparação de amostras

Foi estabelecida uma metodologia em todo o período experimental conforme descrito no Quadro 11:

Tarefas a realizar	Descrição
Monitorização e registo de descarga de lamas da Pronicol	Diariamente foi efetuado o registo do teor de lamas descarregado em aterro com o objetivo de contabilizar o total de lamas disponíveis para a construção integral de cada meda.
Verificação de possibilidade de compor nova meda	Mediante o teor de ramagens e lamas disponível foi decidida a construção de cada meda.
Composição de medas e mistura de ramagens e lamas	A meda construída era composta de ramagens trituradas e lamas à proporção volumétrica 2:1. A deposição de cada constituinte foi ordenada da seguinte forma: colocação na base duma porção de ramagens, coberta de seguida por uma camada de lamas e por cima, de uma nova cobertura de ramagens. A camada inferior atingiu aproximadamente os 2,5 m de largura e 0,9 m de altura para que aquando da descarga da camada de lamas essas não escorressem para fora da meda. A segunda deposição de ramagens efectuou-se sobre as lamas atingindo a meda cerca de 1,6 m de altura. Composta a meda é procedido ao seu volteamento para mistura de ramagens e lamas.
Monitorização da concentração de gases e temperatura	Monitorizaram-se o teor de gases em três pontos na zona central de cada sector e a meia altura da meda. Como equipamento auxiliar à operação foi utilizado o medidor de biogás GFM430 e termómetro inserindo as suas sondas a uma profundidade aproximada de 0,5 m, registando os valores ao fim de 20 a 25 segundos. A monitorização revelou a necessidade de voltar, caso os valores de H ₂ S, CH ₄ ou CO ₂ fossem altos, ou os valores de O ₂ fossem baixos. No final da monitorização, o equipamento utilizado foi lavado e posto a recarregar, caso fosse necessário.
Volteamento de medas	O volteamento foi realizado nas medas que se encontravam com concentrações de H ₂ S, CH ₄ ou CO ₂ anormalmente altos, > 0 ppm, > 0% e > 1%, respectivamente; ou com o teor de O ₂ anormalmente baixo, < 18%.

Quadro 12 – Procedimentos de monitorização, de recolha e preparação das amostras para análise.

Tarefas a realizar	Descrição
Recolha de amostras e monitorização de teores de humidade	No primeiro mês de monitorização colheram-se amostras semanalmente, sendo as posteriores recolhidas mensalmente. Em cada recolha foi anotada a massa inicial, de seguida as amostras foram secas em estufa a 50°C onde permaneceram durante 7 dias, seguido de uma pesagem final. As amostras foram guardadas até terem sido analisadas em laboratório.
Trituração das amostras para análise	As amostras, depois de secas, foram moídas num moinho Willey 3375-E10 com um crivo de 24 mesh.

Quadro 11 (continuação) – Procedimentos de monitorização, de recolha e preparação das amostras para análise.

3.2.2 Determinação da MS, cinzas totais e MO

Para a determinação da MS, cada amostra de cada meda de compostagem foi exposta em estufa a uma temperatura de 50°C por um período de uma semana (quando o peso já tinha estabilizado) e, por diferença de peso entre a amostra inicial e amostra final, foi calculado o seu teor de humidade. As cinzas totais foram determinadas pelo método de calcinação a 500°C durante 4 horas. A MO foi calculada a partir do número de cinzas totais existentes em cada amostra analisada.

3.2.3 Determinação do N total (método Kjeldahl), N amoniacal e N nítrico

Na determinação de N total, a amostra de composto foi triturada e tratada com ácido sulfúrico (digestão). Assim o N orgânico foi convertido em amoniacal. Este último foi fixado pelo ácido sulfúrico sob a forma de sulfato de amónio. Seguidamente à solução adicionou-se hidróxido de sódio para libertar o amónio que se libertou por volatilização e depois foi recolhido por condensação. O amónio condensado foi exposto à reação com uma solução de ácido bórico que, posteriormente, foi titulada com ácido clorídrico diluído. Como a oxidação provocada pela adição do ácido sulfúrico é um processo lento, a velocidade desta reação foi aumentada com a adição de sulfato de potássio e de óxido de mercúrio (catalisador). São assim formados compostos ricos em mercúrio e amónio que são decompostos quando é adicionada à solução tiosulfato de sódio. Foi feito um ensaio em branco. A partir da diferença de ácido clorídrico gasto na titulação de ambas soluções foi apurado o valor de N total mediante o teor de MS das amostras.

O teor de N amoniacal foi determinado através da reação de uma amostra moída de composto (com teor de MS já analisado) com HCl. Foram preparadas soluções padrão com o mesmo ácido ao adicionar-lhe, em recipientes distintos, diferentes volumes de NH_4Cl e H_2O . Foi posteriormente realizada a leitura do teor de N amoniacal através da utilização de um elétrico específico para a monitorização do ião NH_4^+ . Os valores obtidos na leitura da solução em que se dissolveu a amostra de composto foram comparados aos valores das soluções padrão.

A fração nítrica das amostras de composto foi determinada através da preparação desta amostra, sujeitando-a à mistura com os reagentes ASS (solução de sulfato antiamónio) e CTA (solução cromotrópica ácida). Foi medida a absorção da solução, após arrefecimento, num espetrofotómetro de radiação UV/Visível e calculada a concentração de N nítrico da amostra inicial.

3.2.4 Determinação do P total (espectrofotometria de absorção molecular)

O teor de P foi determinado a partir da mistura das cinzas das amostras de composto numa solução clorídrica a qual posteriormente foi adicionado o reagente: molibdato-vanadato de amónio em meio nítrico. Este reagente forma com o fosfatião um sal de amónio de heteropoliácido fosfovanadomolibdeico de cor amarela, cuja absorção foi lida por um espetrofotómetro de absorção molecular

3.2.5 Determinação do K, Na, Mg, Ca, Na, (espectrofotometria de absorção atómica)

O teor destes nutrientes foi apurado através da mistura das cinzas das amostras de composto numa solução clorídrica à qual foi adicionado cloreto de lantânio. Foi medido o comprimento de onda da chama produzida num espetrofotómetro de absorção atómica, após ajuste e calibração do equipamento. O comprimento de onda foi medido e analisado, traduzindo a concentração de nutriente na amostra.

3.2.6 Determinação de pH e CE

Através da utilização de um potenciómetro e de uma sonda para medição da CE, foi possível, após preparação de uma solução resultante da diluição em água de cada amostra triturada, monitorizar o pH e CE.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Características das lamas e ramagens

As análises das ramagens e lamas usadas neste ensaio revelaram valores em alguns casos semelhantes e noutros diferentes aos determinados por Souto (2015; Figura 7). Nas ramagens deste ensaio a percentagem de MO foi inferior e nas lamas foi superior. No que concerne às ramagens, como este material foi entregue pelos utentes da Teramb, nem sempre estas vinham no estado mais limpo, sendo recorrente a mistura com terras, pedras, entulho e até com sacos plásticos e outros materiais antropogénicos. As ramagens foram carregadas com empilhador telescópico com garra ou pá carregadora, por isso com pouca separação dos diversos materiais. No trabalho desenvolvido por Souto (2015) houve um maior critério na separação das ramagens de materiais não orgânicos e antropogénicos, porque como foi feito a uma escala menor, todo o material para trituração foi carregado manualmente para o triturador. Como tal, a fração mineral ser superior nas ramagens usadas para compostagem à escala industrial (Quadro 12), do que à escala de ensaio (Figura 7). Relativamente às lamas, não percebemos se houve alteração no processamento das mesmas por parte da indústria que as produz, mas é possível que assim o seja, porque houve um aumento de quase 50% no teor de MO relativamente aos valores determinados por Souto (2015).

A razão C/N das ramagens neste ensaio foi mais baixa, possivelmente por terem menor proporção de palmeiras do que se ensaiou com Souto (2015). Já nas lamas, como o teor de C neste ensaio foi maior, a razão C/N foi mais elevada, mas mesmo assim muito inferior às ramagens (Quadro 12). Os valores de pH, P, Ca, Mg foram semelhantes aos determinados por Souto (2015). Verifica-se mais uma vez a notável complementaridade entre ambos os materiais, sendo que as ramagens apresentaram uma razão C/N mais alta, tal como os níveis de K, enquanto que as lamas apresentaram uma razão C/N mais baixa, teores de P mais elevados, assim como a CE foi mais alta. O Ca e Mg pouco divergiram entre ambos materiais.

Composição da Amostra	Ramagens			Média	Lamas			Média
	Rep 1	Rep 2	Rep 3		Rep 1	Rep 2	Rep 3	
MS %	37,41	46,38	50,06	44,6	13,73	18,06	15,75	15,85
M.O. %	48,54	59,11	52,25	53,3	89,91	88,85	89,59	89,45
C %	28,16	34,29	30,31	30,9	52,15	51,53	51,96	51,88
N Total %	1,44	1,46	1,50	1,5	7,67	6,90	6,54	7,04
NH ₄ %	0,09	0,13	0,11	0,11	1,42	1,33	1,28	1,34
NO ₃ %	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,05
C/N	19,53	23,55	20,23	21,1	6,80	7,47	7,94	7,40
P %	0,37	0,35	0,34	0,4	1,67	1,79	1,68	1,71
K %	1,02	0,91	0,91	0,9	0,49	0,60	0,56	0,55
Mg %	0,10	0,09	0,10	0,1	0,09	0,08	0,08	0,08
Ca %	1,50	1,59	1,75	1,6	0,90	1,47	1,30	1,22
Na %	0,34	0,37	0,45	0,4	0,19	0,22	0,19	0,20
pH	6,54	6,40	6,55	6,5	6,17	6,36	6,21	6,25
CE ms/cm	3,46	5,08	3,11	3,9	7,19	6,74	8,24	7,39

Quadro 13 – Teor nutricional das ramagens e das lamas utilizadas para a produção de composto.

A mistura de ramagens e lamas para a construção das três medas foi efectuada em datas distintas (Quadro 13).

Meda	Data de Construção
3	12-07-2016
4	15-07-2016
5	25-07-2016

Quadro 14 – Datas de construção das medas de composto.

3.3.2 Estrutura

Após a mistura das ramagens e das lamas, a meda adquiriu um formato trapezoidal que ao longo do tempo tendeu para o triangular devido a abatimentos e à perda de MS resultante da compostagem, o que resultou num aumento de densidade do composto, e à sua perda de humidade, tendo isso influenciado a capacidade gregária do mesmo (Figura 48).



Figura 48 - A) Meda pré-volteamento, B) Meda pós-volteamento.

Até á maturação final do composto houve várias alterações da geometria da meda. Sempre que se usava a volteadora, havia temporariamente aumentos da altura da meda, devido ao rearranjo dos seus constituintes com manifesto aumento da macroporosidade, mas seguido pelo abatimento e retoma da altura inicial. Porém, foi significativa a diferença de altura antes (1,6 m) e após (0,7 m) o processo de compostagem, porque se perdeu MS devido à intensa atividade respiratória, com os sucessivos volteamentos as ramagens ainda ficavam mais fraturadas por atividade mecânica deste equipamento e porque as lamas passaram a misturar-se de forma mais homogênea com as ramagens. A largura da meda manteve-se estável ao longo do processo de compostagem, sendo determinada pela largura da volteadora e pela mobilização de resíduos do eixo vertical para o horizontal.

3.3.3 Temperatura

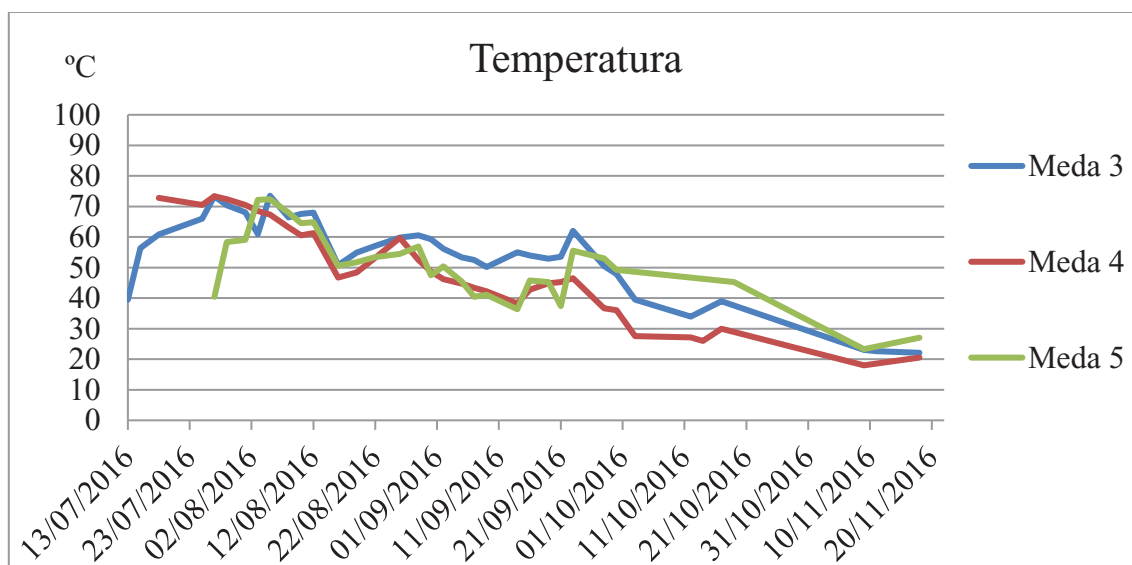


Gráfico 2 - Evolução da temperatura do composto ao longo do seu processo de maturação.

A temperatura das medas teve uma evolução característica dum processo de compostagem, apresentando as seguintes fases:

Fase mesófila: fase inicial de decomposição da mistura que durou apenas algumas horas a dias (0 a 72 horas). Esta fase é caracterizada por ter temperaturas medianas (30 a 50°C), fruto da atividade microbiana aeróbia e anaeróbia. A atividade aeróbia foi notória desde o início devido ao elevado arejamento das medas, disponibilidade de substrato e relativo arejamento da meda, devido à estrutura dos materiais e da ação da volteadora. Porém também houve atividade anaeróbia, que foi proporcionada essencialmente pelo elevado teor de humidade da mistura, principalmente nas zonas mais interiores e baixas da meda, e pelo abatimento desta passadas algumas horas da ação da volteadora. Um dia após a mistura já se visualizava de forma clara a presença de fungos em todas as medas, o que é compatível com o significativo aumento da temperatura neste período. Nas medas 3 e 4, ao terceiro dia após o início de compostagem, a temperatura era de 56,4°C e 72,8°C, respetivamente, e na meda 5 ao quarto dia era de 58,3°C (Gráfico 2). Tirando a meda 4 cuja elevação de temperatura foi anormalmente rápida, a evolução das medas 3 e 5 foi a esperada. Como as ramagens foram trituradas por períodos espaçados, por vezes ficavam a aguardar dias pela disponibilidade de lamas para se fazer a mistura para o processo de compostagem, o que implicou que nessas circunstâncias a compostagem começasse já só com o material vegetal. Como tal, podemos admitir que na meda 4 tenha ocorrido uma mistura tardia de

ramagens, que já estariam em compostagem, com as lamas, e que pode assim ter manifestado logo temperaturas superiores a 50°C. Atendendo aos perfis de temperaturas, parece claro que todas as medas foram muito semelhantes, excepto na meda 4 em que a fase termófila começou indiscutivelmente mais cedo do que nas restantes.

Fase termófila: fase de decomposição da mistura que durou entre 1 a 2 meses caracterizada essencialmente por temperaturas altas (50 a 70°C) devido à elevada atividade microbiana. Em todas as medas esta fase fez-se sentir de forma intensa, ao ponto de durante alguns dias se ter ultrapassado os 70°C (Gráfico 2). Neste período a presença de fungos foi a mais notória, ao ponto desta fase ter sido particularmente demorada. Esta mistura de ramagens com lamas é notoriamente rica, ao ponto de se atingirem temperaturas demasiado elevadas (>70°C) e que, apesar disso, conseguiu-se manter por um período muito longo. As temperaturas muito elevadas podem ser prejudiciais ao processo de compostagem (Batista e Batista 2007), mas como se fizeram volteamentos regularmente (nas primeiras duas semanas desta fase fazia-se três vezes por semana), provavelmente evitou-se que houvesse elevada morte dos microorganismos e se conseguisse uma fase termófila tão longa.

Fase mesófila (final do processo de maturação): fase de decomposição da mistura que prevalece desde o 2º e 3º mês até à estabilização física e microbiológica do composto, quando são atingidos valores de temperatura estáveis de 30 a 40°C e índices de humidade entre os 30 e os 40%. Todas as medas tiveram um comportamento semelhante, nomeadamente quando as temperaturas voltavam a subir acima dos 50°C, o que ocorreu em finais de Agosto e de Setembro. Como este processo de compostagem ocorreu a céu aberto, se houvesse pouca precipitação a evolução da temperatura era descendente e gradual, mas quando a precipitação aumentou em finais de agosto e de setembro, as medas retomaram a fase termófila, sendo notório que esta tenha durado várias semanas na meda 3. Isto indica-nos que a disponibilidade de nutrientes nestes compostos em formação manteve-se alto por quase três meses, que apesar das elevadas temperaturas na fase termófila a atividade microbiológica manteve-se alta por muito tempo, sendo que os teores de humidade foram determinantes no início e interrupção desta fase mesófila.

3.3.4 MS e Humidade

O índice de MS do composto, assim que é feita a mistura de lamas e ramagens, encontrava-se entre 23 e 32%, aumentando esse valor em condições normais, sem contabilizar possíveis reidratações, até aos 70 a 80%. Porém como a compostagem foi realizada a céu aberto, a exposição à chuva foi total, o que resultou num perfil de humidade diferente do que se obtém em sistemas cobertos (Gráfico 3).

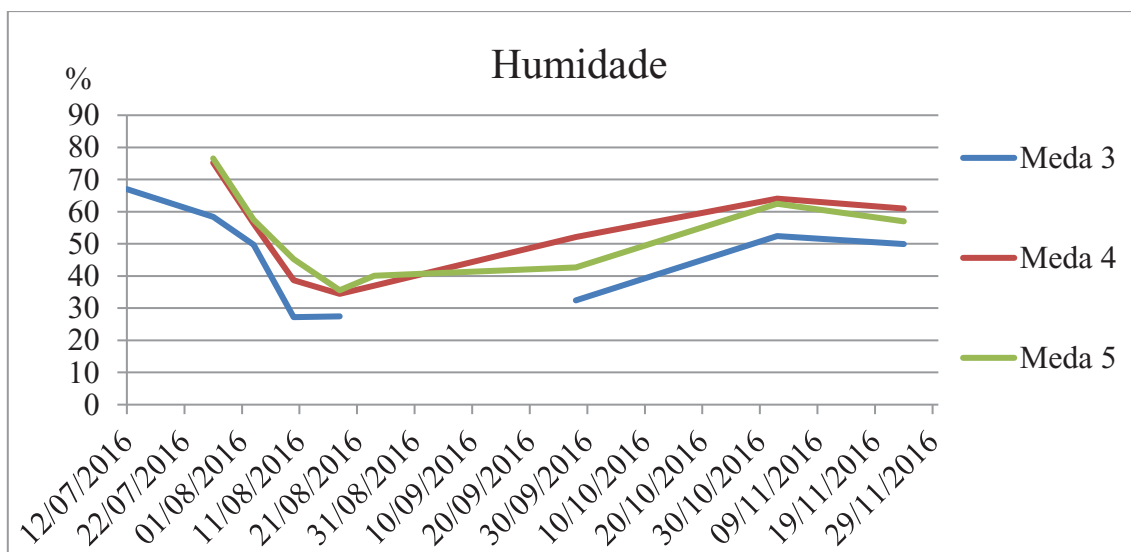


Gráfico 3 - Evolução do teor de humidade do composto ao longo do seu processo de maturação.

Inicialmente o elevado teor de humidade foi determinado pela presença das lamas que, por si só, tinham entre 85 e 90%. Porém, à medida que a fase termófila foi atingida e com a baixa precipitação neste período (Gráfico 4), o teor de humidade baixou para 27 a 35%, o que é fortemente inibidor da atividade microbiológica. Com a retoma da precipitação, nomeadamente em final de agosto, apesar de apenas ter havido um ligeiro acréscimo do teor de humidade, retomou-se a fase termófila em todas as medas, sendo que a meda 3, mesmo com o teor de humidade mais baixo, conseguiu manter uma temperatura acima de 50°C por mais tempo. A partir de finais de setembro, apesar da humidade e da precipitação terem continuado a subir, a temperatura voltou a baixar, o que é sintomático da menor disponibilidade de nutrientes e da aproximação da maturação do composto.

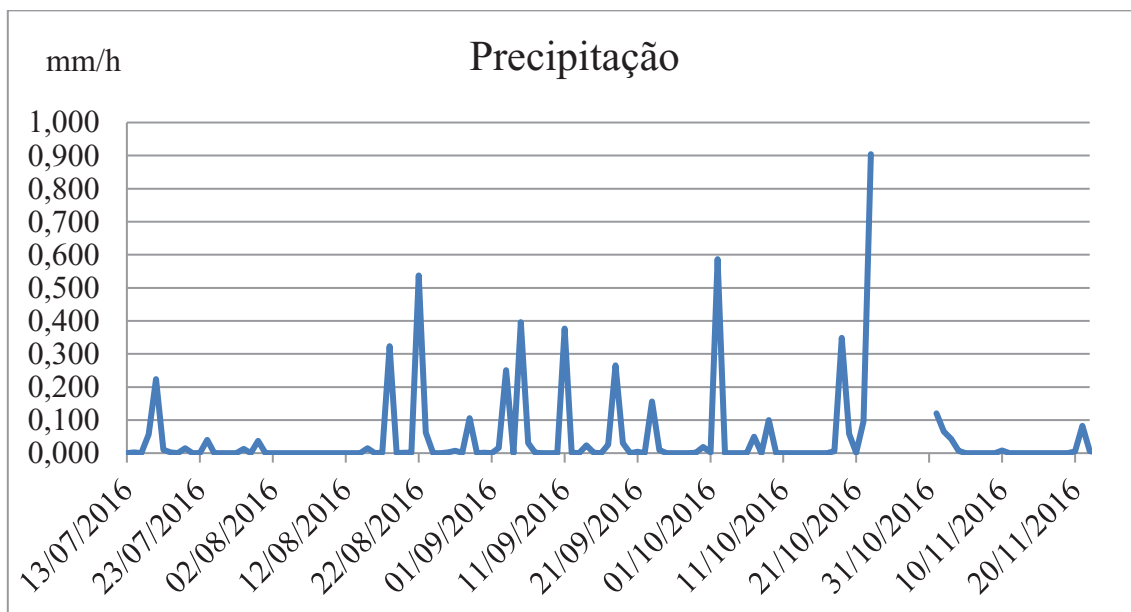


Gráfico 4 - Evolução da precipitação durante a compostagem.

3.3.5 O₂ e CO₂.

Neste ensaio a técnica utilizada para promoção do arejamento das medas foi o volteamento. A concentração de O₂ dependeu do número de volteios a que as medas foram expostas. Os seus valores encontraram-se entre os 15% e os 21,4% (Gráfico 5) e estiveram dependentes da manutenção dos espaços intersticiais no substrato e da presença de ar. Em situações em que se constatou um deficiente arejamento, a taxa de anaerobiose foi evidenciada no processo de compostagem pela maior concentração de CO₂ (Gráfico 6).

Os teores de O₂ foram muito menos variáveis do que os de CO₂, por ser um gás dominante no ambiente envolvente e isso permitia a recorrente troca gasosa entre o interior e o exterior da meda. Os níveis de CO₂ foram fortemente dependentes da atividade de compostagem: sempre que a meda atingia valores de temperatura superiores a 50°C, os valores de CO₂ subiam, o que é consentâneo com uma muito maior atividade respiratória. Nessas circunstâncias os níveis de O₂ eram tendencialmente baixos. Também se verificou que quando chovia os teores de CO₂ também tendiam a subir, enquanto a compostagem foi mais ativa (até finais de setembro). A água tende a ocupar os espaços intersticiais, pelo que pode dificultar as trocas gasosas do interior com o exterior da meda. Como tal, se os volteamentos forem regulares, pode-se eliminar o excesso de CO₂ e eventual défice de O₂, sem deixar que a compostagem seja muito prejudicada.

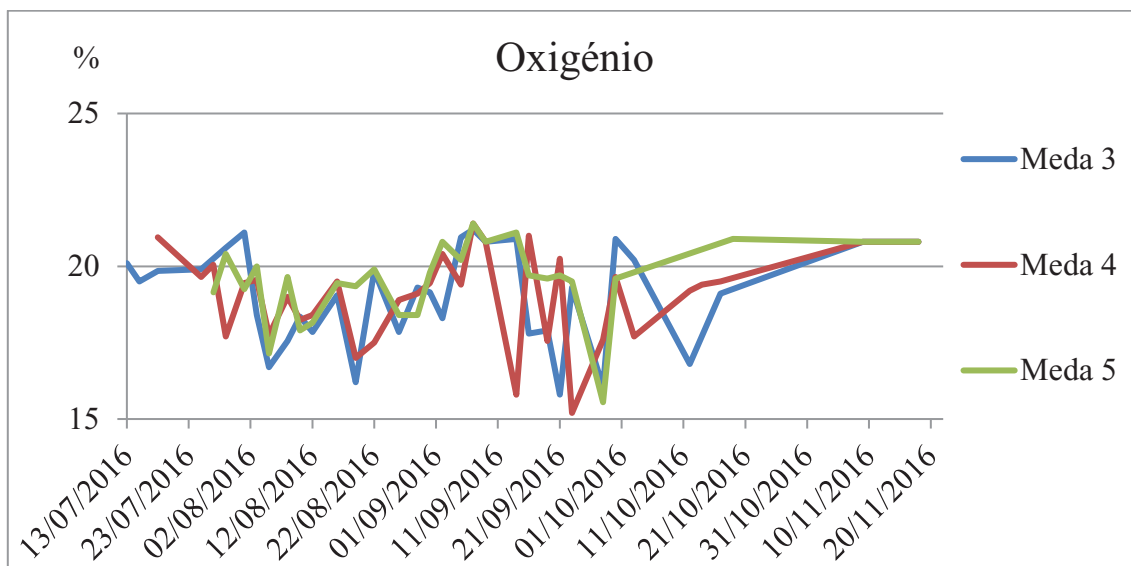


Gráfico 5 - Evolução do teor de O₂ na atmosfera dentro da meda ao longo da compostagem.

Quando os valores de CO₂ ultrapassavam 1%, procedia-se ao volteamento e quando os valores de O₂ eram inferiores a 18%, também se procedia ao volteamento (Quadro 12). Foram mais frequentes as circunstâncias em que o CO₂ ultrapassou 1%, o que, para os níveis normais de O₂, é condição suficiente para inibir a actividade respiratória. Os níveis de CO₂ são muito mais instáveis neste processo e é um dos parâmetros que importa monitorizar durante a compostagem.

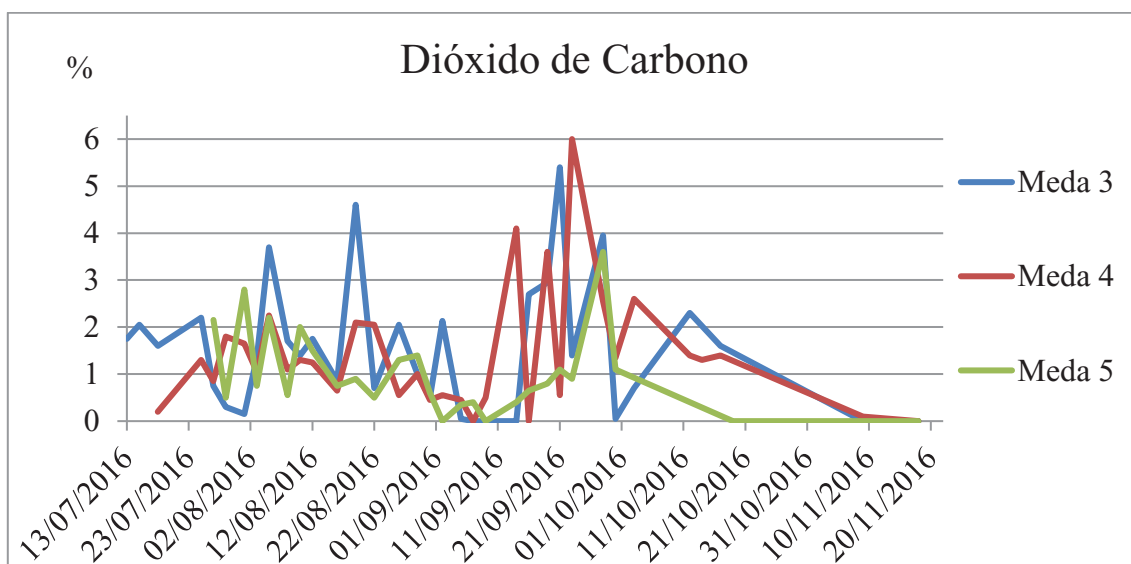


Gráfico 6 - Evolução do teor de CO₂ na atmosfera dentro da meda ao longo da compostagem.

3.3.6 CH₄ e H₂S

O CH₄ e o H₂S são gases residuais indicativos da atividade microbiana anaeróbia, revelando por isso a necessidade de arejamento do composto.

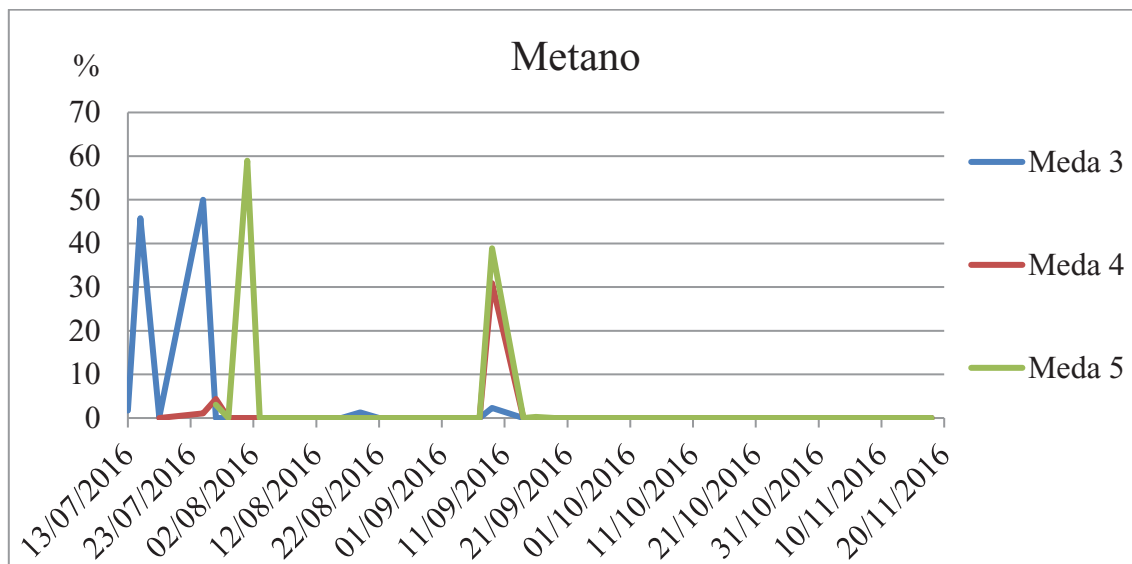


Gráfico 7 – Evolução do teor de CH₄ na atmosfera dentro da meda ao longo da compostagem.

A fase metanogénica (metanogénese) incidu predominante nas primeiras duas semanas após a mistura do composto, enquanto se desenrolou o início da fase termófila. Através do volteamento das medas foi possível evitar, em parte, o processo fermentativo e manter o substrato a níveis de pH entre 6 e 7 (Gráfico 20). Tal provavelmente se deveu à presença de nitritos e nitratos (Gráfico 13) que inibiram a atividade das bactérias metanogénicas, evitando a transformação do ácido acético em metano e dióxido de carbono.

A libertação de H₂S (Gráfico 8) foi muito pontual, sendo mais expressiva nas fases iniciais da compostagem e esporádica na fase mesófila final. O recurso aos volteamentos foi determinante no controlo da libertação deste gás nas fases iniciais, porque pela presença de oxigénio as atividades fermentativas são largamente reduzidas. Como nesta fase a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana eram muito elevadas, era difícil assegurar constantemente o arejamento da meda, mesmo quando o seu teor de humidade era equilibrado. Por isso as primeiras duas semanas de compostagem terem sido críticas quanto a este gás e o CH₄. Note-se que estas, como todas as outras medições feitas *in loco*, efetivaram-se antes dos volteamentos, por isso recorrentemente espelhavam o que sucedia às medas que estavam em repouso por dois

ou três dias. Aliás, estes indicadores, conforme já foi referido, eram usados para decidir se deveria ou não proceder ao uso do volteador. Como tal, considero quase inevitável que, numa fase de elevada disponibilidade de nutrientes, pontualmente tenha havido atividade fermentativa que levou à libertação destes gases.

Em outubro voltou-se a detectar a libertação de H₂S. Nesta fase a atividade microbiana era muito inferior, ao ponto de todas as medas estarem na fase mesófila final, mas com um teor de humidade maior devido à precipitação mais persistente, provavelmente numa ou duas dessas ocasiões houve um défice de arejamento que rapidamente foi ultrapassado pelo volteamento.



Gráfico 8 - Evolução do teor de H₂S na atmosfera dentro da meda ao longo da compostagem.

3.3.7 MO e C

Os valores de MO dos compostos em formação e maturados foram diferentes dos resultados obtidos por Souto (2015) (Figura 8 e Gráfico 9). Como as ramagens e lamas foram misturadas em igual proporção de peso fresco e os seus teores de MS foram bem distintos (Quadro 12), em MS a proporção entre ambos constituintes foi de 3:1, o que implicou que as características das ramagens tenderam a prevalecer sobre as das lamas, exceto quando algum parâmetro fosse de tal maneira determinante que se sobrepusesse a esta proporção (ex: o N). Ora no caso destes compostos em formação, os teores de MO desde o início variaram entre 50 e 70%, aproximadamente, baixando em todas as medas até a maturação. Esta redução do teor de MO é compreensível, dada a elevada atividade microbiana, nomeadamente nos primeiros 2 a 3 meses de compostagem,

consumindo elevadas quantidades compostos orgânicos. No término de maturação do composto os níveis de MO estabilizaram.

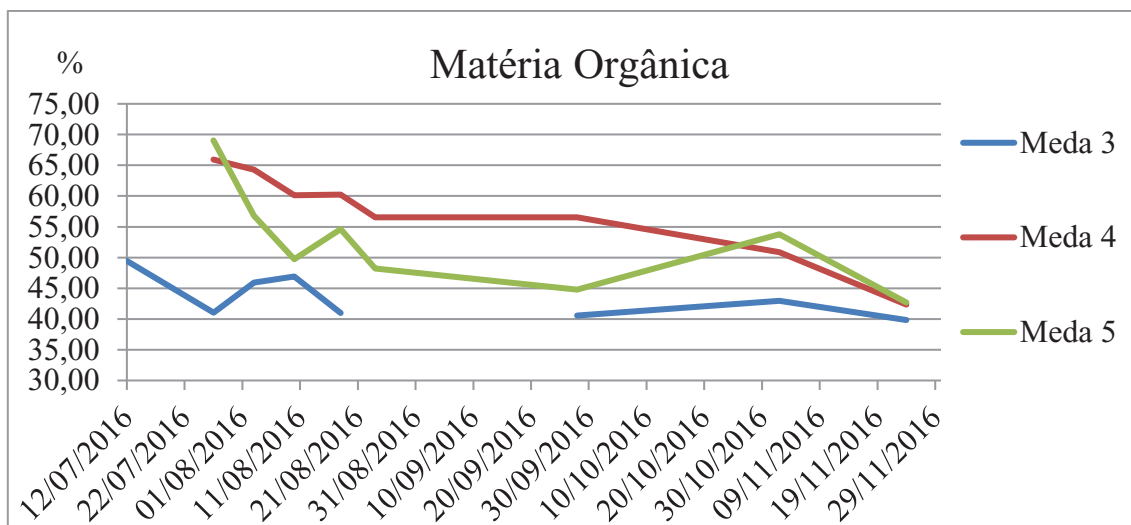


Gráfico 9 - Evolução do teor de MO do composto ao longo do seu processo de maturação.

Como os níveis de carbono estão indexados à MO, a sua evolução durante a compostagem é semelhante (Gráficos 9 e 10). Os teores de carbono estabilizaram entre 23 e 25%, o que foi um pouco inferior aos valores determinados por Souto (2015) (Figura 8).

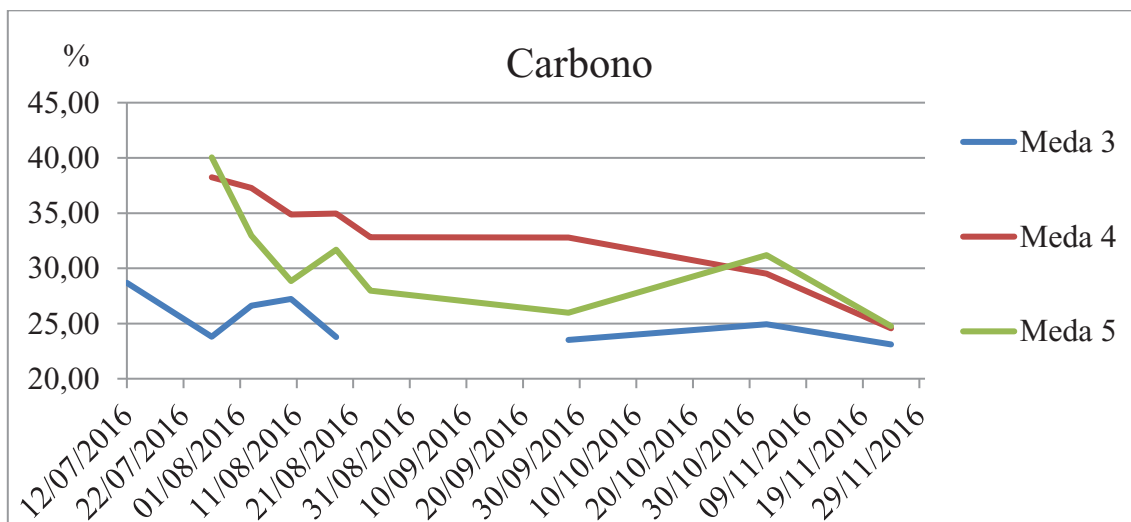


Gráfico 10 - Evolução do teor de carbono do composto ao longo do seu processo de maturação.

3.3.8 N total, nítrico e amoniacal

O teor de N total nas três medas diminuiu ao longo da compostagem, o que é natural, dados os processos de desnitrificação e ocasionalmente de fermentação que

podem causar a sua perda. Porém, a forma como este variou, nomeadamente nas medas 4 e 5, foi surpreendente. Durante a fase termófila, seja no seu pico (medas 3 e 5), como na fase de decréscimo da temperatura (meda 4), os teores de N total tiveram um abrupto decréscimo, recuperando nas amostras seguintes. Mesmo que tenha havido sequestro de N pelos microorganismos, este deveria ter sido detetado pela metodologia com que foi analisado. Conforme foi referido as amostras foram secas a 50°C e é possível que tal tenha causado perturbações na determinação deste elemento. As razões de ter tido maior expressão numa determinada data de colheita e não nas outras não nos são claras, pelo que estes valores de análise devem ser considerados com reservas.

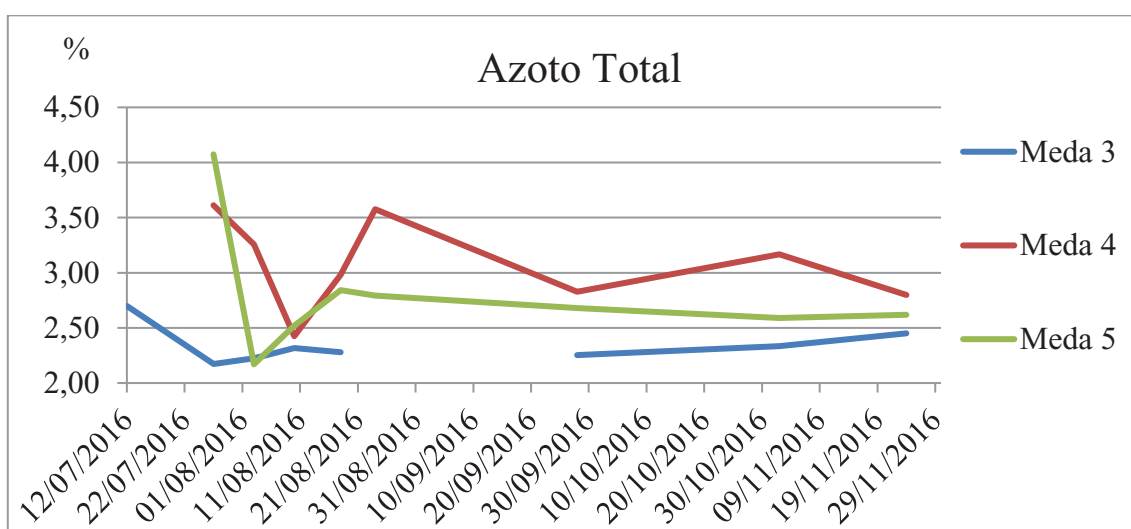


Gráfico 11 - Evolução do teor de N total do composto ao longo do seu processo de maturação.

Os níveis de NH_4^+ começaram por ser elevados e reduziram drasticamente até a maturação do composto (Gráfico 12), enquanto que os níveis de NO_3^- tiveram uma evolução inversa (Gráfico 13). Estes padrões evolutivos são os esperados na formação e maturação do composto (Batista e Batista, 2007). Efetivamente com o acréscimo das condições de arejamento o NH_4^+ converte-se em NO_3^- , sendo que a fração orgânica continua a ser a forma dominante de N no composto.

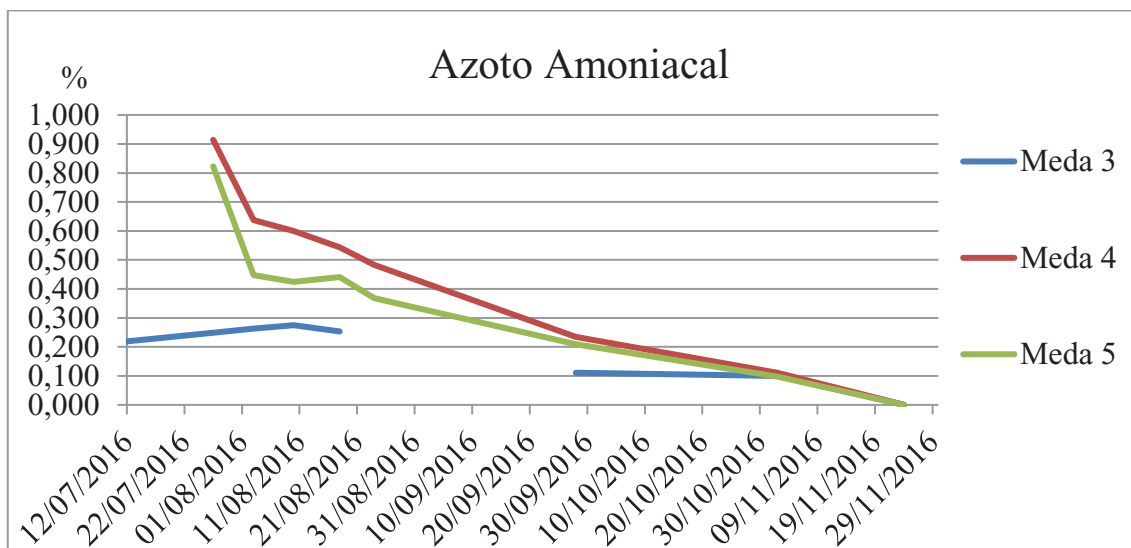


Gráfico 12 - Evolução do teor de N amoniacal do composto ao longo do seu processo de maturação.

A meda 3 teve uma evolução dos teores de NH_4^+ diferentes das outras medas. Enquanto que nas medas 4 e 5 os valores de NH_4^+ eram muito altos e foram descendo ao longo do processo de compostagem (Gráfico 13), conforme era esperado, na meda 3 os valores iniciais de NH_4^+ foram mais baixos, começaram por aumentar um pouco até ao fim da fase termófila e depois decresceram até a maturação do composto. As razões da evolução dos teores de NH_4^+ nas fases iniciais da compostagem da meda 3 não são claras. A evolução do NO_3^- seguiu um padrão mais constante nas três medas (Gráfico 13), começando com valores muito baixos e terminando com valores altos, como seria de esperar num processo de compostagem.

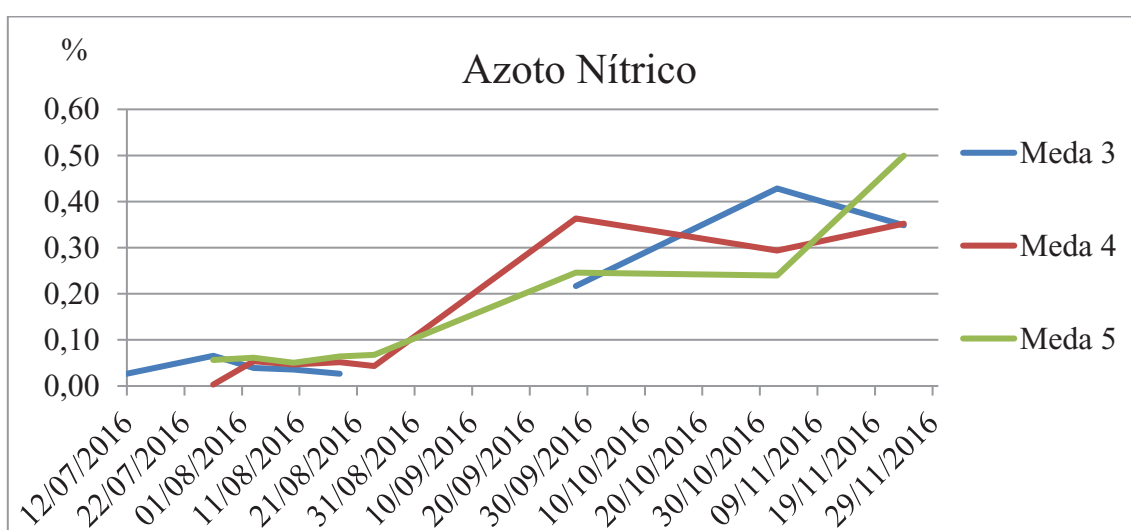


Gráfico 13 - Evolução do teor de N nítrico do composto ao longo do seu processo de maturação.

O processo de compostagem causou perdas de N, seja pela perda de MS (não foi estimado esse valor, mas o abatimento das medas deu-nos essa indicação), como pela perda no seu teor. No caso do N total, em média houve uma redução de 24% no processo de compostagem, o mesmo sucedendo na fração mineral (a soma das frações NH_4^+ e NO_3^- diminuiu 41%). Com os volteamentos, provavelmente houve perdas de NH_3 , apesar do pH ter sido ligeiramente ácido, e de N_2 . A isso acresce que esta compostagem foi feita numa área exposta à chuva, por isso é admissível que tenha ocorrido também a lixiviação deste nutriente, nomeadamente na fração mineral. Apesar disso, na composição final, apresentou valores de N muito bons para fertilizante orgânico, o que são muito boas indicações para o seu valor agronómico.

3.3.9 Relação C/N

A relação C/N manteve-se constante em grande parte do processo de compostagem (Gráfico 14), apesar de não se poder explicar o expressivo aumento durante a fase termófila (devido essencialmente à diminuição de N total), traduzindo-se num equilíbrio das perdas em C e N. Contudo, nas últimas 3 semanas foi registado um decréscimo dessa relação devido provavelmente a uma maior proporção de perdas de C. Possivelmente a adsorção de NH_4^+ e a sua gradual transformação em NO_3^- garantiram a menor perda de N em comparação com o de C.

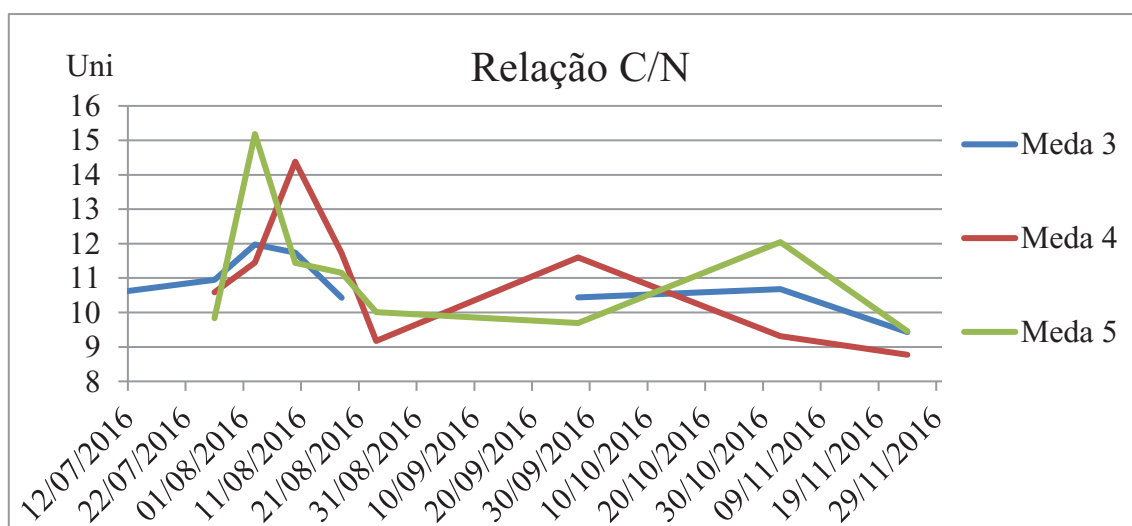


Gráfico 14 - Evolução da relação C/N do composto ao longo do processo seu de maturação.

3.3.10 P, K, Mg, Ca e Na

Durante a maturação do composto houve perdas expressivas de CO₂ e provavelmente ocorreu a mineralização de parte da fração orgânica, como tal foi notório o aumento do teor de cinzas totais no composto. Assim sendo, era expectável que ao procedermos à determinação dos teores de P (espectrofotometria de absorção molecular) e de K, Mg, Ca e Na (espectrofotometria de absorção atómica) no teor de cinzas totais, a disponibilidade desses nutrientes se mantivesse de forma proporcional ao aumento do teor de cinzas, o que se verificou (Gráficos 15 a 19). A exceção foi uma muito ligeira diminuição na composição de P na meda 4, mas em média (das três medas) este nutriente aumentou durante a compostagem. A concentração dos catiões analisados, incluindo o Na, aumentou ao longo do processo de compostagem, pelo que é presumível que a degradação das unidades celulares da componente vegetal poderão ter contribuído para o incremento e posterior imobilização de ambos elementos através da atividade coloidal dos radicais carboxílicos e oxidrídicos, que adsorvem os catiões bivalentes Ca²⁺ e Mg²⁺.

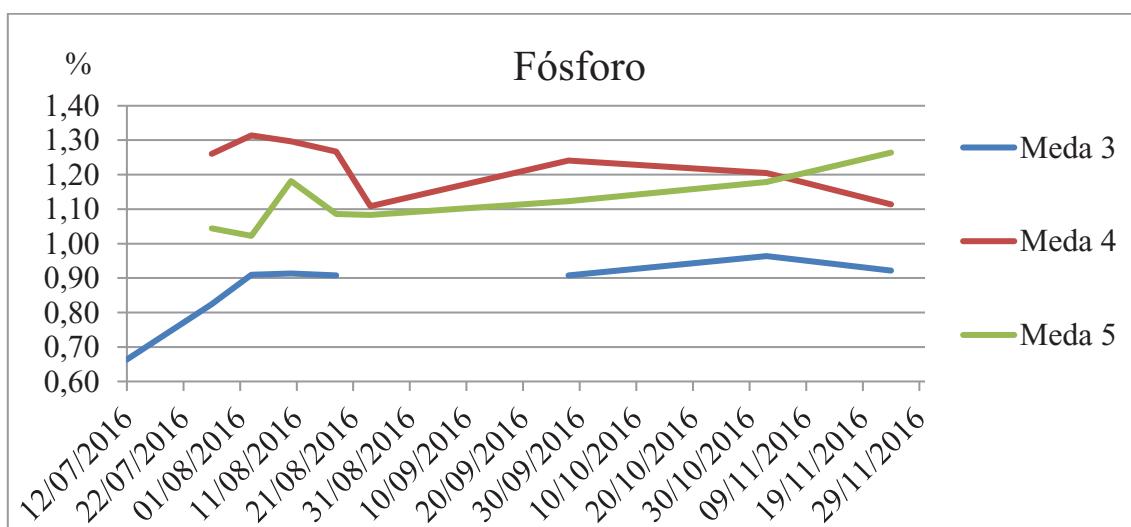


Gráfico 15 - Evolução do teor de P do composto ao longo do seu processo de maturação.

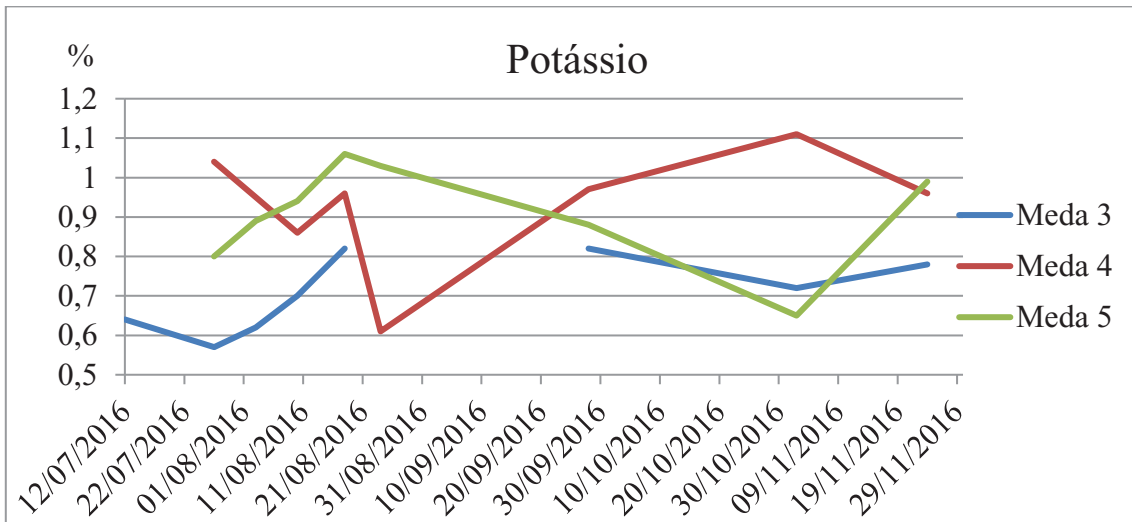


Gráfico 16 - Evolução do teor de K do compostos ao longo do seu processo de maturação.

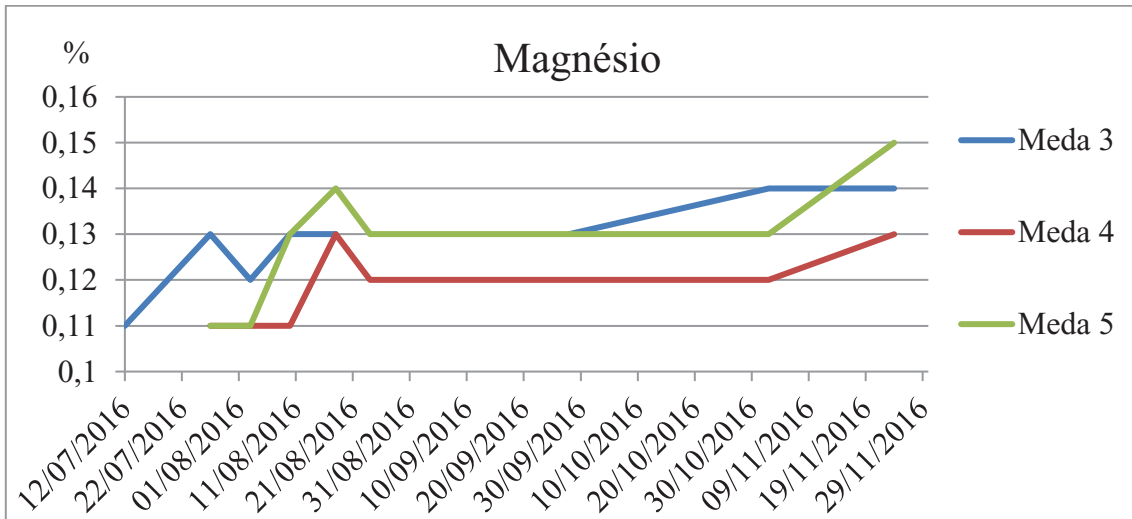


Gráfico 17 - Evolução do teor de Mg do composto ao longo do seu processo de maturação.

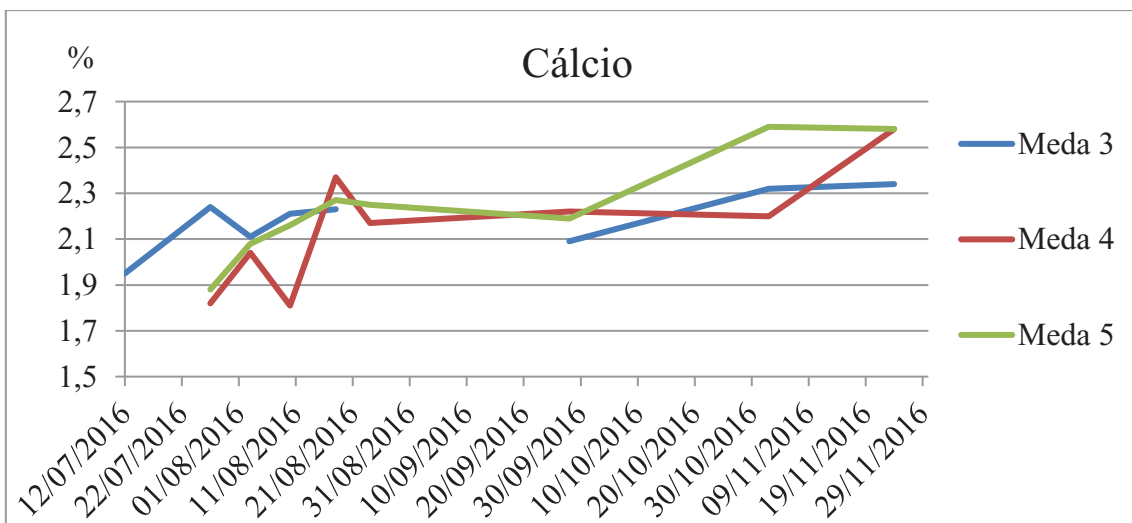


Gráfico 18 - Evolução do teor de Ca do composto ao longo do seu processo de maturação.

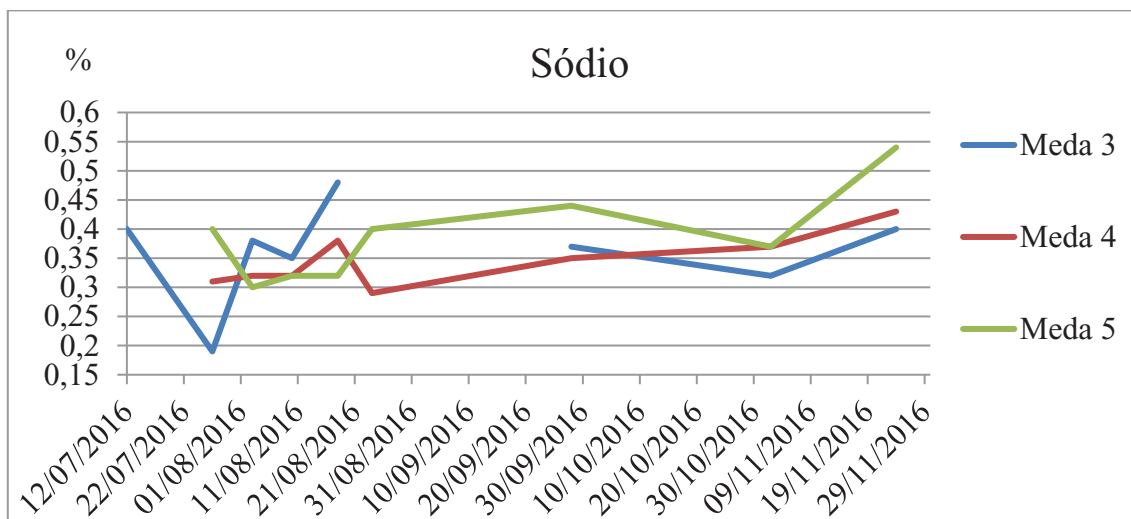


Gráfico 19 - Evolução do teor de Na do composto ao longo do seu processo de maturação.

3.3.11 pH e CE

A inibição da digestão anaeróbia do composto permitiu controlar possíveis oscilações no potencial de oxidação-redução da mistura e consequente aumento de pH, atingindo a maturação, de forma controlada, num espaço temporal de aproximadamente 4 meses, tal como previsto. O volteamento das medas, a exsudação resultante da decomposição celular do material vegetal e a incidência pontual de reações anaeróbias permitiram a disponibilização de cátions e aniões para a manutenção do equilíbrio do pH verificado na análise das amostras recolhidas (pH entre 6,2 e 7,2).

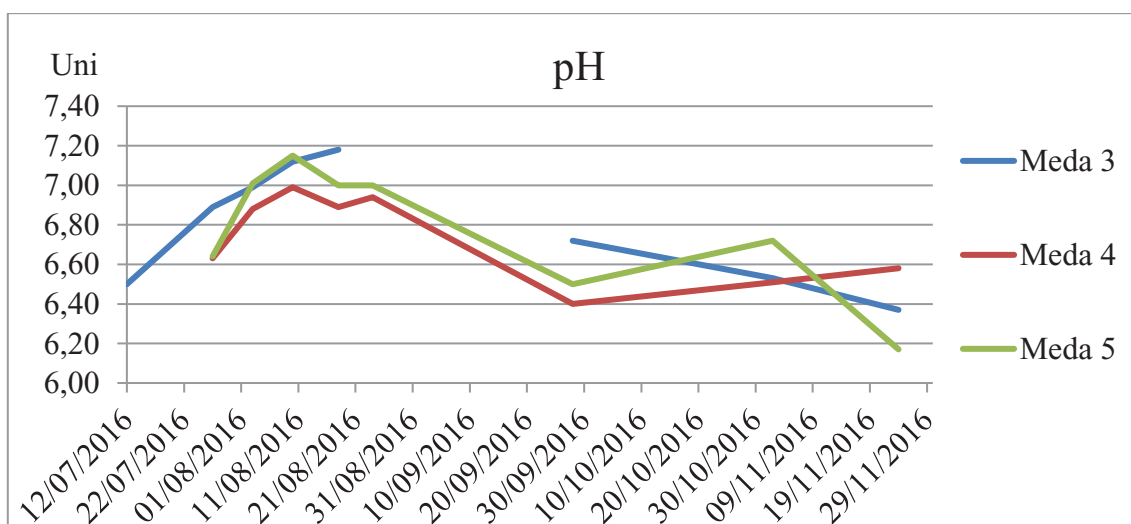


Gráfico 20 - Evolução do pH do composto ao longo do seu processo de maturação.

Inicialmente os valores de pH subiram em todas as medas, atingindo o valor mais elevado no fim da fase termófila, mas não atingindo níveis de alcalinidade que

favorecessem em demasia a perda de N sob a forma de NH_3 . Os valores finais foram ligeiramente ácidos e são favoráveis para a maioria das culturas.

A condutividade elétrica, embora tenha variado ao longo da compostagem, apresentou valores finais muito semelhantes aos iniciais em todas as medas (Gráfico 21). Normalmente é esperado que a condutividade elétrica baixe no início da compostagem, provavelmente pela fixação temporária de NH_4 e outros iões, libertando-se posteriormente e aumentando ligeiramente até a maturação do composto (Batista e Batista, 2007). Este comportamento verificou-se na meda 3, enquanto nas restantes medas foi mais variável. Enquanto que os níveis de NH_4^+ diminuíram ao longo da compostagem, os restantes nutrientes analisados aumentaram até a maturação do composto, pelo que terão levado a que no final a CE fosse muito idêntica à inicial.

Estes valores de CE são mais elevados do que os apresentados por Agnew e Leonard (2003) para composto com lamas, provavelmente porque se optou neste ensaio por ter uma mistura muito rica em lamas (1:1). No entanto, como os compostos são aplicados ao solo, o efeito de diluição destes nutrientes é significativo, pelo que não se considera que estes valores causem qualquer problema às culturas em que serão empregues.

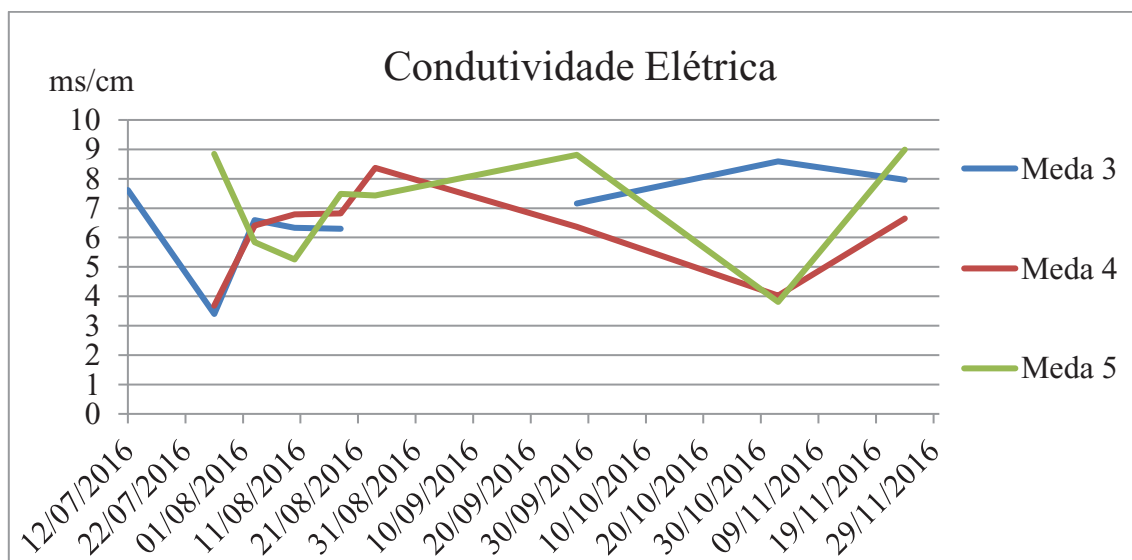


Gráfico 21- Evolução da CE ao longo do processo de maturação do composto.

3.4 Conclusões

Conseguiu-se produzir composto à escala industrial de elevada qualidade agronómica, utilizando ramagens verdes e de lamas de depuração da indústria de lacticínios, por um processo de compostagem simplificado, a céu aberto, com recurso a volteadora.

O composto formado passou pelas três fases habituais, sendo que a termófila durou entre quatro a oito semanas, tendo demorado quatro meses a atingir a maturação.

Este ensaio revelou que a utilização da volteadora permite a homogeneização e arejamento do composto, garantindo a inibição da respiração anaeróbia e fermentação durante o processo de compostagem, contribuindo para a produção de um composto homogéneo e equilibrado.

Os altos teores de humidade das lamas e a precipitação registada *in loco* dificultaram o processo de arejamento das medas, influenciando diretamente a sua taxa respiratória e consequentemente a produção de calor. Como é evidenciado na monitorização realizada nas três medas o aumento do teor de humidade das medas, no período inicial e em fases intermédias pode induzir a libertação de CH₄ e H₂S, ou, se o composto estiver relativamente seco, pode induzir o surgimento de novas fases termófilas.

A atividade microbiológica e regulação do binómio temperatura/humidade garantiram a higienização do composto e uma maior eficiência produtiva, o que só foi possível dada a atenção e intervenção com a volteadora, sendo nessas condições o processo biológico conduzido e regulado de forma adequada.

A relação C/N do composto inicial e final pouco variou, havendo um equilíbrio nas perdas azotadas e de carbono. Mesmo se iniciando o processo de compostagem com uma relação C/N baixa foi possível conduzir com sucesso o ensaio.

A proporção em N:P:K foi equilibrada no composto amadurecido, o que confere excelentes propriedades como matéria fertilizante para a maioria das culturas. Neste ensaio as lamas foram a principal fonte de N e P, enquanto que as ramagens foram a principal fonte de K. Comparativamente ao ensaio realizado à escala experimental, é constatado um acréscimo nutricional do composto na sua produção à escala industrial, e verificado um incremento no teor de MS e MO e nos totais de N, P, K e Ca.

Os níveis de N total diminuíram ao longo da compostagem, apesar de terem ocorrido importantes variações nesse processo, os níveis de N amoniacal começaram

com valores elevados e decresceram para valores residuais na maturação, enquanto que os níveis de nitrato aumentaram significativamente durante a compostagem. Em todas as fases a forma predominante de N foi a orgânica.

O pH do composto foi ligeiramente ácido e a condutividade eléctrica não obsta a qualquer utilização agronómica, desde que aplicado em quantidades que não ultrapassem o que está estabelecido legalmente.

A industrialização do processo da compostagem constitui uma prática benéfica no que diz respeito à condução e controle do processo maturativo do composto através da promoção da respiração aeróbia. Podemos afirmar que o composto apresentado, pós-maturação, poder-se-á revelar como uma mais-valia enquanto matéria fertilizante. Também se confirma que a produção de composto à base da compostagem de misturas de ramagens e de lamas de depuração de origem animal (indústria de laticínios) na modalidade proporcional, mistura peso fresco, de 1:1, é exequível à escala industrial.

BIBLIOGRAFIA

ADP Fertilizantes (2015) Acedido em 20 de dezembro de 2015 em: <http://www.adp-fertilizantes.pt/templates/sp.aspx?M=112&F=7>;

Abreu, J., Bruno-Soares, A., & Calouro, F. (2000). *Intake and nutritive value of Mediterranean forages & diets* 1ª edição. Lisboa, Portugal: Instituto Superior de Agronomia;

Albrecht, R., Périssol, C., Ruaudel, F., Petit, J., & Terrom, G. (2010). Functional changes in culturable microbial communities during a co-composting process: Carbon source utilization and co-metabolism. *Waste Management*, pp. 764-770;

Agnew, J.M., Leonard, J.J. (2003). The Physical Properties of Compost. Literature review. *Compost Science Utilization*, Vol. 11, 3: 238-264;

Batista, J. & Batista E. (2007) *Compostagem: Utilização de compostos em Horticultura*. Angra do Heroísmo: Universidade dos Açores – CITA-A;

Board on Agriculture and Natural Resources (2001) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th edition, National Academy Press, Washington DC, USA. pp. 408;

Bedada, W., Karlun, E., Lemenih, M., & Tolera, M. (2014). *Long-term addition of compost and NP fertilizer increases crop yield and improves soil quality in experiments on smallholder farms*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, pp. 193-201;

Byrne, E. and McCormack, S (1978). *Determination of ammonium nitrogen in silage samples by an ammonia electrode*. Comm. In *Soil Sci. and Plant Analysis* 9: p.667-684;

Board on Agriculture and Natural Resources (BANR) 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed., National Academy Press, Washington DC, USA. pp. 408;

Código de boas práticas agrícolas. (1997) 1ª edição, Lisboa, Portugal, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas;

CONFIAGRI (2016) Acedido em 20 de janeiro de 2016 em: <http://www.confagri.pt/Noticias/Pages/noticia33615.aspx>

Dias, J. C. Santos. (2000) *A fertilização e a qualidade dos produtos alimentares de natureza vegetal*. *Investigação Agrária* n° 2, pp. 5-50, Lisboa, Portugal;

Doublet, J., Francou, C., Poitrenaud, M., & Houot, S. (2011). Influence of bulking agents on organic matter evolution during sewage sludge composting;

consequences on compost organic matter stability and N availability. *Bioresource Technology*, 102(2), pp 1298-1307;

DRE (2016) Acedido em 2 de junho de 2016 em: <https://dre.pt/>;

FAO (2016) Acedido em 20 de outubro de 2016 em: <http://www.fao.org/>;

Gonçalves M.S. (2005) *Gestão de Resíduos Orgânicos* 1ª edição, Porto, Portugal;

Google Earth (2016) Acedido em 6 de agosto de 2016 em: <https://www.google.com/intl/pt-PT/earth/>;

Gil, M.V., Carballo M.T., and Calvo L.F. (2011). Modelling N Mineralization From Bovine Manure And Sewage Sludge Composts. *Bioresource Technology*, 102.2, pp. 863-871;

Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., & Shen, Y. (2012). Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technology*, 112, pp 171-178.

INE (2016). Acedido em 10 de outubro de 2016 em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE;

Kulikowska, D., & Gusiatin, Z. (2015). Sewage sludge composting in a two-stage system: Carbon and nitrogen transformations and potential ecological risk assessment. *Waste Management*, 38, pp 312-320;

Langarica-Fuentes, A., Handley, P., Houlden, A., Fox, G., & Robson, G. (2014). An investigation of the biodiversity of thermophilic and thermotolerant fungal species in composts using culture-based and molecular techniques. *Fungal Ecology*, 11, pp 132-144;

Lynce de Faria P. (1980), *Técnicas culturais utilizadas na cultura do milho*, Edição Associação de Estudantes de Agronomia, p.51, Lisboa, Portugal

López, M., Huerta-Pujol, O., Martínez-Farré, F., & Soliva, M. (2010). Approaching compost stability from Klason lignin modified method: Chemical stability degree for OM and N quality assessment. *Resources, Conservation And Recycling*, 55(2), pp 171-181;

MAYS, D. (1974). *Forage fertilization*, 1ª edição. American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America. Madison, EUA

Pinitpaitoon, S., Suwanarit A., and Bell, R.W. (2011). A Framework For Determining The Efficient Combination Of Organic Materials And Mineral Fertilizer

Applied In Maize Cropping. *Field Crops Research*, 124.3, pp. 302-315;

PIONEER (2016) Acedido em 9 de outubro de 2016 em: <http://www.pioneer.com/landing>;

Ritchie S.W., Hanway J.J., Benson G.O. (1993) *How a corn Plant Develops*. Special Report nº48, Iowa State University of Science and Technology, p.20, Ames, Iowa, EUA

Santos, J. Quelhas (1991). Fertilização – Fundamentos da utilização dos adubos e correctivos. 2ª edição Publicações Europa-América, Lda., pp 87;

Santos, J. Quelhas (2002) Produção de correctivos orgânicos a partir de resíduos sólidos urbanos: sua importância para a agricultura nacional. *Revista de Ciências Agrárias*. Vol XXV, pp 28-39

Souto, L. (2015) *Compostagem de ramagens com e sem lamas de ETAR*, Angra do Heroísmo, Universidade dos Açores;

SRAA (2016). Acedido em 14 de novembro de 2016 em: <http://portal-sraa.azores.gov.pt/>;

SREA (2015). Acedido em 11 de dezembro de 2015 em: <http://srea.azores.gov.pt/>;

SRAA (2016). Acedido em 15 de novembro de 2016 em: <http://srea.azores.gov.pt/>;

Soobhany, N., Mohee, R., & Garg, V. (2015). Comparative assessment of heavy metals content during the composting and vermicomposting of Municipal Solid Waste employing *Eudrilus eugeniae*. *Waste Management*, 39, pp 130-145;

University of Illinois Extension Service (2015). Acedido em 15 de novembro de 2016 em: <http://web.extension.illinois.edu/state/index.php>

Willekens, K., Vandecasteele, B., & De Neve, S. (2014). Limited short-term effect of compost and reduced tillage on N dynamics in a vegetable cropping system. *Scientia Horticulturae*, 178, pp 79-86;

Zhang, H., & Matsuto, T. (2011). Comparison of mass balance, energy consumption and cost of composting facilities for different types of organic waste. *Waste Management*, 31(3), pp 416-422.