



Universidade do Algarve

Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais

Compostagem de resíduos agro-industriais:
Monitorização do processo e avaliação da qualidade do
composto

Luísa Isabel Guerreiro David Coelho

Mestrado em Agricultura Sustentável
Faro, 2007

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer ao Prof. Doutor Mário Reis, meu orientador, pelas sugestões e acompanhamento prestado durante a execução desta tese. Não posso deixar de lhe agradecer todos os conhecimentos transmitidos durante vários anos de trabalho.

À Prof. Doutora Lúcia Dionísio, minha co-orientadora, que acompanhou a execução desta tese, em especial no que toca à microbiologia.

Aos Prof. Doutores Carrasco de Brito, Carlos Guerrero e Júlio Osório, pela disponibilidade para esclarecimento de algumas dúvidas.

À Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve, particularmente ao Eng. Armindo Rosa e ao Sr. Artur Rodrigues, pelo apoio durante o decorrer da compostagem.

Aos viveiros Vidaverde, onde decorreram os ensaios dos viveiros hortícolas.

Não posso deixar de agradecer à Prof. Doutora Isabel Trillas da Universidade de Barcelona, pela realização dos ensaios de supressividade.

Aos técnicos de laboratório Camilo Portela e Liseta Viegas pelo apoio prestado sempre que solicitado.

A todos os colegas de mestrado, pelo ano que passamos juntos.

Às colegas de “corredor” Irina, Florinda, Susana, Vera e Andrea pelos momentos de boa disposição que são sempre importantes. Ao Jorge, pela ajuda prestada em alguns ensaios de supressividade.

Inevitavelmente tenho que agradecer à minha família, de modo muito particular à minha irmã, por contribuir com a sua boa disposição e companhia, ajudando-me mesmo sem se dar conta.

Não posso deixar de agradecer aos meus amigos mais próximos, pelo seu apoio, compreensão e amizade.

Finalmente, ao Frederico por me ter motivado para mais um desafio e pela paciência que teve nos últimos tempos.

Índice Geral

Índice de Figuras.....	iv
Índice de Quadros	vi
Índice de Anexos.....	vii
Símbolos e Abreviaturas.....	viii
Resumo	ix
Abstract.....	x
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento teórico	1
1.2. Objectivos	2
2. Revisão Bibliográfica.....	4
2.1. Breve história da compostagem	4
2.2. O processo da compostagem.....	4
2.2.1. Temperatura	6
2.2.2. pH.....	8
2.2.3. Condutividade eléctrica (CE).....	9
2.2.4. Humidade.....	9
2.2.5. Carbono (C), Azoto (N) e relação C/N	10
2.2.6. Matéria Orgânica	12
2.2.7. Densidade aparente	12
2.2.8. Tamanho das partículas.....	13
2.2.9. Volume de material.....	14
2.2.10. Variáveis microbiológicas	14
2.3. Sistemas de compostagem	18
2.3.1. Pilha estática com ventilação forçada.....	18
2.3.2. Pilha com reviramento mecânico.....	19
2.4. Qualidade de um composto.....	19
2.5. Índice de Germinação	20
2.6. Valor Agronómico do composto.....	21
2.6.1. Aplicação de compostos aos solos.....	21
2.6.2. Utilização de compostos como substratos hortícolas.....	23
Capacidade de arejamento	24
Capacidade de retenção de água	24
Água Facilmente Utilizável (AFU).....	24
Água de Reserva	25
Água Dificilmente Utilizável.....	25
2.7. Capacidade supressiva dos compostos.....	27
2.7.1. Factores que afectam a capacidade supressiva	28
2.7.2. Mecanismos de acção de capacidade supressiva	29
2.7.3. Resistência Sistemática Adquirida (SAR)	32
3. Material e Métodos	33
3.1. Condições de compostagem.....	33
3.2. Colheita das amostras	35
3.3. Métodos para determinação das propriedades físicas.....	36

3.3.1.	Granulometria	36
3.3.2.	Densidade real (dr).....	36
3.3.3.	Densidade aparente (dap).....	37
3.3.4.	Espaço poroso total (EPT)	37
3.3.5.	Contração do volume (CTR).....	37
3.3.6.	Relações ar – água	38
	Capacidade de arejamento (CA).....	38
	Água facilmente utilizável (AFU)	38
	Água de reserva (AR)	39
	Água dificilmente utilizável (ADU)	39
3.4.	Métodos para determinação das propriedades químicas.....	39
3.4.1.	Matéria Orgânica (M.O.) e Matéria Mineral (M.M.).....	39
	Determinação do azoto Kjeldhal.....	40
	Determinação do fósforo (P).....	41
	Determinação do potássio (K)	41
	Determinação do cálcio (Ca) e do magnésio (Mg)	41
	Determinação ferro (Fe).....	42
3.5.	Métodos para determinação das propriedades físico-químicas	42
3.5.1.	pH.....	42
3.5.2.	Condutividade Eléctrica (CE).....	42
3.5.3.	Teor de Humidade (H) e Matéria Seca (MS).....	43
3.6.	Temperatura	43
3.7.	Métodos para avaliação microbiológica	44
3.7.1.	Enumeração de Fungos	44
3.7.2.	Enumeração de bactérias heterotróficas.....	44
3.7.3.	Enumeração de Actinomicetes.....	45
3.8.	Métodos para determinação de propriedades biológicas	47
3.9.	Determinação do valor dos compostos como substratos hortícolas.....	48
3.10.	Capacidade Supressiva dos Compostos	49
3.10.1.	Ensaio de supressividade em relação a <i>Rizoctonia solani</i>	49
3.10.2.	Ensaio de supressividade em relação a <i>Fusarium</i> sp. e <i>Scelerotinia homeocarpa</i>	50
3.11.	Análise Estatística de Dados	51
4.	Resultados e Discussão	52
4.1.	O processo de compostagem e os compostos obtidos	52
4.1.1.	Temperatura	52
4.1.2.	Características Físicas.....	54
4.1.2.1.	Volume de material.....	54
4.1.2.2.	Granulometria	55
4.1.2.3.	Relações ar-água	56
4.1.3.	Características Químicas.....	58
4.1.3.1.	Matéria Orgânica e Matéria Mineral.....	58
	Para cada um dos compostos, em cada coluna, os valores seguidos de letras diferentes apresentam diferenças estatísticas para $p \leq 0,05$, pelo Teste de Duncan.	59
4.1.3.2.	Relação C/N	62
4.1.4.	Propriedades Físico-Químicas	63

4.1.4.1.	pH.....	63
4.1.4.2.	Condutividade eléctrica (CE).....	64
4.1.4.3.	Matéria Seca.....	65
4.1.5.	Monitorização Microbiológica.....	66
4.1.5.1.	Enumeração de Fungos.....	66
4.1.5.2.	Enumeração de Bactérias heterotróficas.....	70
4.1.5.3.	Enumeração de Actinomicetes.....	72
4.2.	Análises Biológicas.....	77
4.2.1.	Índice de Germinação.....	77
4.3.	Qualidade dos compostos obtidos.....	78
4.4.	Valor agronómico do composto.....	80
4.4.1.	Aplicação dos compostos ao solo.....	80
4.4.2.	Utilização dos compostos como substratos hortícolas.....	80
4.5.	Capacidade Supressiva dos Compostos.....	84
4.5.1.	Ensaio de supressividade em relação a <i>Rizoctonia solani</i>	84
4.5.2.	Ensaio de supressividade em relação a <i>Fusarium</i> sp. e <i>Scelerotinia homeocarpa</i>	87
5.	Conclusões.....	89
6.	Referências Bibliográficas.....	91
Anexos	99

Índice de Figuras

Figura 1: Processo da compostagem.....	5
Figura 2: Evolução do processo de compostagem.....	7
Figura 3: Evolução do pH durante a compostagem.....	8
Figura 4: Aspecto das pilhas no início do processo.....	33
Figura 5: Dimensão das pilhas de compostagem e colheita das amostras.....	34
Figura 6: Ventilador instalado na pilha ventilada.....	34
Figura 7: Reviramento com fraccionamento mecânico.....	35
Figura 8: Sondas de temperatura.....	43
Figura 9: Evolução da temperatura, na parte lateral e central das duas pilhas de compostagem ao longo do processo.....	52
Figura 10: Evolução da temperatura registada pelas sondas do ventilador da pilha ventilada.....	53
Figura 11: Evolução do volume das duas pilhas de compostagem ao longo do processo.....	54
Figura 12: Distribuição granulométrica dos compostos resultantes das duas pilhas de compostagem aos 152 e 375 dias de compostagem.....	55
Figura 13: Curva de retenção de água dos compostos estudados.....	57
Figura 14: Evolução da matéria orgânica nas duas pilhas de compostagem ao longo do processo.....	59
Figura 15: Evolução do azoto Kjeldhal nas duas pilhas de compostagem ao longo do processo.....	60
Figura 16: Evolução da relação carbono/azoto nas duas pilhas de compostagem ao longo do processo.....	62
Figura 17: Evolução do pH nas duas pilhas de compostagem ao longo do processo.....	63
Figura 18: Evolução da condutividade eléctrica (CE) nas duas pilhas de compostagem ao longo do processo.....	65
Figura 19: Evolução da matéria seca nas duas pilhas de compostagem ao longo do processo.....	66
Figura 20: Aspecto de uma placa de Petri colonizada por fungos.....	66
Figura 21: Variação da população de fungos, incubados a 25 e a 55 °C na pilha ventilada ao longo do processo.....	68
Figura 22: Variação da população de fungos, incubados a 25 e a 55 °C na pilha revirada ao longo do processo.....	69
Figura 23: Aspecto de uma placa de Petri.....	70
Figura 24: Variação da população de bactérias heterotróficas, incubados a 25 e a 55 °C na pilha ventilada ao longo do processo.....	71
Figura 25: Variação da população de bactérias heterotróficas, incubados a 25 e a 55 °C na pilha revirada ao longo do processo.....	72
Figura 26: Monitorização de actinomicetes em diferentes meios de cultura em PV.....	73
Figura 27: Monitorização de actinomicetes em diferentes meios de cultura em PR.....	74
Figura 28: Aspecto de uma placa de Petri.....	74
Figura 29: Evolução da população de actinomicetes na pilha ventilada ao longo do processo, incubados a 25 e a 55 °C.....	75

Figura 30: Evolução da população de actinomicetes na pilha revirada ao longo do processo, incubados a 25 e a 55 °C	76
Figura 31: <i>Trichoderma</i> sp. do composto com 2 anos, inculada em meio PDA com <i>Fusarium</i> sp. e <i>Scelerotinia homeocarpa (dollar spot)</i>	87
Figura 32: <i>Trichoderma</i> sp. do solo, inculada em meio PDA com <i>Fusarium</i> sp. e <i>Scelerotinia homeocarpa (dollar spot)</i>	88
Figura 33: <i>Trichoderma</i> sp. do produto comercial, inculada em meio PDA com <i>Fusarium</i> sp. e <i>Scelerotinia homeocarpa (dollar spot)</i>	88

Índice de Quadros

Quadro 1: Parâmetros de qualidade para compostos de origem animal e vegetal.....	20
Quadro 2: Características adequadas para um composto empregue como substrato.....	26
Quadro 3: Distribuição granulométrica dos compostos testados	56
Quadro 4: Características físicas dos compostos testados	56
Quadro 5: Características químicas dos materiais aos 1, 151 e 375 dias de compostagem em PV e PR.....	59
Quadro 6: Percentagem do teor dos nutrientes determinados.....	61
Quadro 7: Características físico-químicas dos compostos no 1º, 151º e 375º dia de compostagem em PV e PR.....	64
Quadro 8: População de microrganismos aos 1, 151 e 375 dias de compostagem.....	67
Quadro 9: População de actinomicetes em PV e PR em diferentes meios de crescimento	73
Quadro 10: Índice de germinação nos compostos estudados, com 375 dias	77
Quadro 11: Características dos compostos aos 151 e 375 dias de compostagem.....	78
Quadro 12: Valores médios das variáveis estudadas no final do viveiro (composto com 151 dias).....	81
Quadro 13: Número de dias que as plantas levaram a atingir o tamanho para plantação. 81	
Quadro 14: Valores médios das variáveis estudadas no final do viveiro (composto com 375 dias).....	82
Quadro 15: Número de dias que as plantas levaram a atingir o tamanho para plantação. 83	
Quadro 16: Percentagem de germinação, severidade e incidência da doença no composto aos 151 dias de compostagem.....	84
Quadro 17: Percentagem de germinação, severidade e incidência da doença no composto aos 375 dias de compostagem.....	85
Quadro 18: Percentagem de germinação, severidade e incidência da doença no composto aos 2 anos de compostagem.....	86

Índice de Anexos

Anexo 1: Granulometria dos compostos aos 151 e 375 dias de compostagem

Anexo 2: Características físicas dos compostos aos 151 e 375 dias de compostagem

Anexo 3: Correlação entre as propriedades físicas dos compostos ao longo do processo

Anexo 4: Correlação entre o volume das pilhas e as propriedades físicas dos compostos

Anexo 5: Análise estatística para as variáveis físico-químicas, químicas, microbiológicas e temperatura

Anexo 6: Correlação entre as variáveis físico-químicas, químicas e microbiológicas da pilha ventilada

Anexo 7: Correlação entre as variáveis físico-químicas, químicas e microbiológicas da pilha ventilada

Anexo 8: Características do substrato comercial

Símbolos e Abreviaturas

AC – Meio de cultura (amido e caseína)
ACCN – Meio de cultura (amido, caseína, cicloheximida e nistatina)
ACPP – Meio de cultura (amido, caseína, penicilina e polimixina)
ACPPCN – Meio de cultura (amido, caseína, penicilina, polimixina cicloheximida e nistatina)
ADU – Água dificilmente utilizável
AFU – Água facilmente utilizável
AIA – Actinomycete isolation agar
AR – Água de reserva
Ca – Cálcio
CA – Capacidade de arejamento
CE – Condutividade eléctrica
CTR – Contração do material
Dap_h – Densidade aparente húmida
Dap_s – Densidade aparente seca
DI – Incidência da doença
Dr – Densidade real
DS – Severidade da doença
EPT – Espaço poroso total
Fe – Ferro
IG – Índice de germinação
K – Potássio
Mg – Magnésio
M.M. – Matéria Mineral
M.O. – Matéria Orgânica
M.S. – Matéria Seca
N – Azoto
P – Fósforo
PCA – Plate count agar
PR – Pilha revirada
PV – Pilha ventilada
SC – Sustrato Comercial
SCA – Sabouraud chloramphenicol agar
T25 – Turfa incubada a 25 °C
T60 – Turfa incubada a 60 °C

Resumo

No presente trabalho estudou-se a evolução de um processo da compostagem de resíduos agro-industriais de refugo de laranja, bagaço de azeitona e aparas de relva, n3a proporção de 2:1:1, em volume. Foram feitas duas pilhas de compostagem denominadas por pilha estática com ventilação forçada (PV) e pilha com reviramento mecânico (PR). Durante o processo fez-se a monitorização das propriedades físicas, químicas, físico-químicas, microbiológicas e biológicas para avaliar o estado de maturação dos compostos.

Em ambas as pilhas verificou-se uma evolução normal do processo, favorecida pelo reviramento com trituração das partículas de maiores dimensões.

Aos 151 dias de compostagem verificaram-se algumas diferenças físicas entre os dois compostos, atribuídas ao reviramento efectuado aos 51 dias.

No final, ambos os compostos superaram as características para poderem ser utilizados em agricultura, não se registando diferenças entre as variáveis físicas, químicas e físico-químicas estudadas.

Os compostos obtidos apresentaram um elevado índice de germinação.

Os compostos foram testados como substratos hortícolas, uma forma de utilização bastante exigente quanto à qualidade destes materiais. Nos ensaios realizados, os compostos, apresentaram resultados superiores após 375 dias de compostagem, principalmente em PR. No final do ensaio, os compostos obtidos, revelaram aptidão para o uso como substratos em viveiros de plantas hortícolas, embora conduzam a uma maior duração do mesmo.

Nos testes para avaliar a capacidade supressiva dos compostos, os resultados foram superiores nos compostos com 151 dias, seguindo-se os compostos com 2 anos, sem diferenças entre os materiais provenientes das duas pilhas.

Apesar das poucas diferenças estatísticas registadas entre as duas pilhas de compostagem, no final o composto da pilha revirada obteve resultados superiores, principalmente quando avaliado o seu valor agronómico, como substrato hortícola.

Palavras – chave: monitorização, substrato, supressividade, sustentabilidade

Abstract

The main goal of this thesis was to study the evolution of the composting process of orange, olive pomace and grass clippings, with a volumetric proportion of 2:1:1.

Two composting piles were set up: one of which static with ventilation (PV) and the other mechanic turning (PR). Throughout the process the properties of both composting piles were evaluated (physical, chemical, physicochemical, microbiologic and biologic properties) in order to assess the level of maturation.

Both piles progressed as expected, being favoured by the mechanic turning, triturating the bigger particles.

151 days after the start of the composting process some physical differences were confirmed, presumably due to the mechanic turning made after 51 days.

At the end, both composts were considered fit to use with agronomical purposes, with no differences between the physical, chemical and physicochemical properties considered.

The germination index was high for both, suggesting that the composts were safe to use in agriculture.

The composts were tested as horticultural substrate, which has a very demanding use regarding the quality of the materials. In the essay carried through, results were better after 375 day, mainly for the compost of the pile with mechanic turning. Although the plants take more time to develop the composts can be considered a good option in horticultural nurseries.

As for the suppressive ability of both composts, the results were better for composts with 151 days, followed by those with two years, without any differences between piles.

Although the lack of significant differences between composts, the compost of the pile with mechanic turning obtained better results, mainly regarding the agricultural value.

Key-words: monitoring, substrate, suppressive, sustainability.

1. Introdução

1.1. Enquadramento teórico

A agricultura sustentável pode ser definida como um sistema produtivo que permite obter benefício contínuo do uso dos recursos naturais, satisfazendo as necessidades actuais da população, sem os destruir para as gerações futuras (Castillo, 1992).

A agricultura, ao passar de actividade de subsistência a actividade económica, levou à utilização, muitas vezes abusiva, de fertilizantes e ao conseqüente abandono da adubação orgânica, ocorrendo a degradação do solo quanto aos seus aspectos físico, químico e biológico (Santos, 2001).

Nos últimos anos tem-se assistido a um crescimento da produção de resíduos. A nível da União Europeia a prevenção da produção de resíduos é preferida à reciclagem, e esta à incineração, sendo a deposição em aterro a ultima opção. Assim torna-se relevante o tratamento e valorização de resíduos orgânicos biodegradáveis (ROB's) (Cunha-Queda, 2006). A compostagem é uma das soluções propostas nas linhas de orientação da Comunidade Europeia para minimizar a deposição de resíduos biodegradáveis em aterros, permitindo conciliar a protecção ambiental e a valorização destes materiais para fins agrícolas (Ferreira *et al.*, 2002).

Em Portugal, a actividade agrícola produz quantidades significativas de resíduos, nomeadamente restos da actividade agrícola, florestal e agro-industrial (Cunha-Queda *et al.*, 2005).

A compostagem é um método de valorização de resíduos sólidos, mediante o qual a sua componente orgânica é decomposta biologicamente em condições controladas, alcançando-se uma fase em que pode ser manuseado, armazenado ou aplicado ao solo sem afectar o ambiente (Golueke, 1991).

A compostagem é um processo aeróbio (Golueke, 1991) que envolve a decomposição da matéria orgânica através de microrganismos ocorrendo naturalmente, apesar de poder ser acelerado pela intervenção do Homem (Zucconi & Bertoldi, 1987). É um processo de

oxidação biológica através do qual os microrganismos decompõem os materiais, libertando dióxido de carbono, vapor de água e energia na forma de calor.

O produto final, designado por composto, é um produto estabilizado, higienizado e livre de substâncias fitotóxicas, benéfico para a produção vegetal (Zucconi & Bertoldi, 1987 e Brito, 2005).

A compostagem permite reduzir o volume de resíduos produzidos, com obtenção de um produto de elevado valor para fins agrícolas (Capitán *et al.*, 1997).

Os compostos quando aplicados ao solo, melhoram as suas propriedades físicas, químicas e biológicas. São um substituto da turfa na cultura sem solo, permitindo a cultura de numerosas espécies hortícolas e ornamentais (Keeling *et al.*, 1995). Em viveiros hortícolas, podem ser uma alternativa à utilização da turfa, recurso limitado e não renovável, bastante importante para a preservação ambiental (Lozano *et al.*, s/d; Stoffella, 1996 e Abad *et al.*, 2001).

Mais recentemente sabe-se que os compostos revelam capacidade para reduzir ou eliminar alguns agentes patogénicos das plantas (Kim *et al.*, 1996) contribuindo para a redução da aplicação de pesticidas (De Ceuster & Hoitink, 1999). Os mecanismos de controlo baseiam-se na competição entre os organismos benéficos e os patogénicos, actividade antibiótica e parasitismo. Pode ainda ocorrer resistência sistemática adquirida (Mandelbaum & Hardar, 1990).

1.2. Objectivos

Este trabalho pretendeu monitorizar a compostagem de uma mistura de laranja de refugio, bagaço de azeitona e aparas de relva em duas pilhas de compostagem: pilha estática com ventilação forçada e pilha com reviramento mecânico. Para isso estudou-se a evolução de variáveis físicas, físico-químicas, químicas, microbiológicas e biológicas durante o processo de compostagem.

Testou-se a capacidade supressiva dos compostos resultantes, em relação a *Rhizoctonia solani*, em três estados distintos de maturação: após 151, 375 dias e 2 anos de

compostagem. Aos dois anos avaliou-se também a capacidade supressiva para *Fusarium* sp. e *Sclerotinia homeocarpa*.

Foi ainda objectivo deste trabalho determinar o potencial valor agronómico dos compostos, em particular como substratos para viveiros hortícolas, nas culturas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) e melão (*Cucumis melo* L.), o que se efectuou com os compostos com 151 e 375 dias de compostagem.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Breve história da compostagem

A compostagem é um processo conhecido pelo Homem desde a Antiguidade, da época de caçador / recolector. Quando o Homem começou a cultivar plantas, observou que as colheitas eram superiores quando cultivadas junto de montes de vegetação em putrefacção e de estrume (Day & Shaw, 2005). A prática da compostagem pelos chineses é conhecida há mais de 4 000 anos, para obterem compostos para a fertilização (Gray *et al.*, 1973).

Há registos referentes ao século I d.C. que descrevem a adição de água a misturas de resíduos de colheita com excrementos de animais. Esta mistura produzia calor, obtendo-se um produto diferente, o adubo orgânico (Columela, sec. I d.C.).

No entanto, só depois da II Guerra Mundial foram levados a cabo os trabalhos científicos que permitiram estudar os processos que ocorrem durante o período da compostagem (Day & Shaw, 2005).

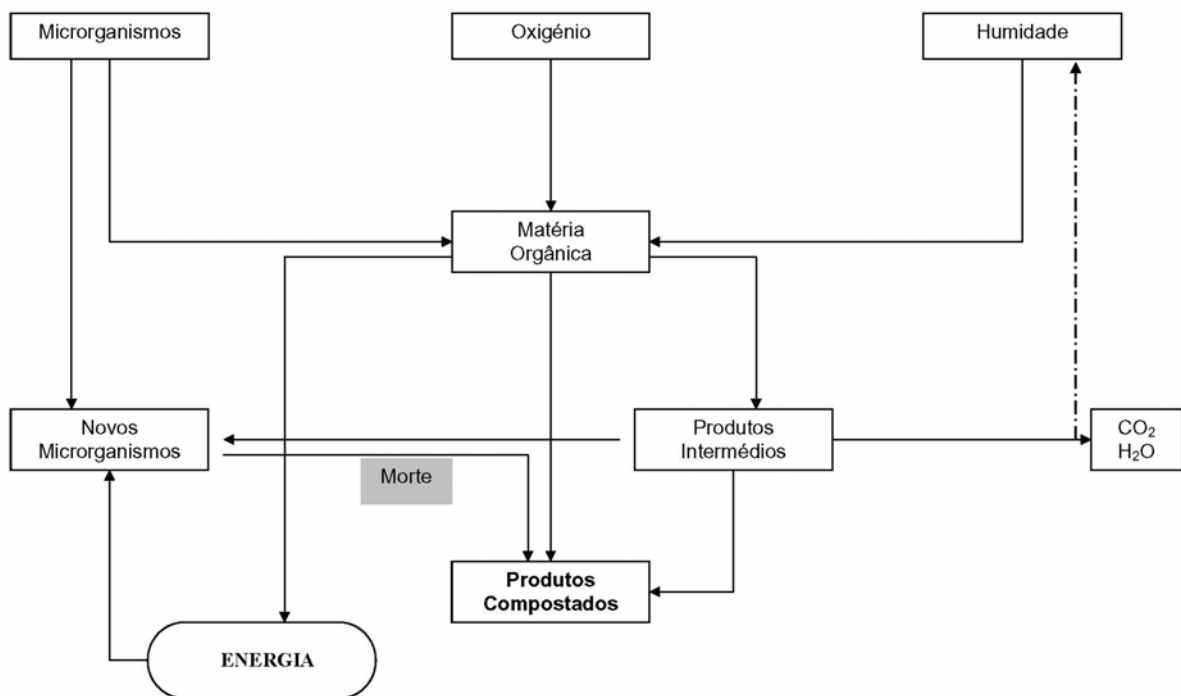
O crescimento do consumo dos últimos anos levou a um aumento da produção de resíduos, levando-nos a um desenvolvimento cada vez mais insustentável. Assim, o tratamento e o destino final dos resíduos sólidos tornaram-se um processo de grande importância nas políticas ambientais dos países desenvolvidos (Goldstein, 2005).

2.2. O processo da compostagem

A compostagem é um processo bioxidativo que envolve um material orgânico heterogéneo na fase sólida, ocorrendo uma fase termofílica com libertação temporária de fitotoxinas, produzindo-se água, dióxido de carbono, substâncias minerais e matéria orgânica estabilizada, sendo esta última denominada por composto (Zucconi & Bertoldi, 1987).

A compostagem baseia-se num conjunto de processos biológicos interdependentes, realizados por microrganismos que decompõem a matéria orgânica. A maior parte dos processos são aeróbicos (Day & Shaw, 2005).

Durante a compostagem os microrganismos, na presença de oxigénio e humidade degradam a matéria orgânica, obtendo energia e nutrientes para o seu crescimento e reprodução, utilizando as substâncias mais simples, passando posteriormente para as mais complexas. Parte desta energia disponibilizada é utilizada no seu metabolismo, sendo a restante libertada sob a forma de calor. Os organismos, durante o processo, produzem dióxido de carbono, água, calor, subprodutos gasosos e o composto final (Figura 1) (Gray *et al.*, 1971 e Day & Shaw, 2005).



(Fonte: Gray *et al.*, 1975)

Figura 1: Processo da compostagem

No início da compostagem, as condições óptimas para o desenvolvimento do processo são: relação C/N compreendida entre 25 e 30, teor de humidade entre 40 e 60 %, pH de

5,5 a 9 e concentração de O₂ na atmosfera circundante às partículas da biomassa superior a 10 % (Cunha-Queda, 2006).

O processo da compostagem pode ter uma duração variável dependente do tipo de material e das condições em que é efectuado (Boulter *et al.*, 2000 e Day & Shaw, 2005).

Os factores mais importantes para o desenvolvimento da compostagem são a temperatura, a humidade, o pH, o arejamento e os nutrientes disponíveis (Beata-Hall *et al.*, 2002).

O produto resultante da compostagem designa-se composto, sendo constituído por matéria orgânica estabilizada semelhante ao húmus (Zucconi & De Bertoldi, 1987). Existem várias formas de avaliar a estabilidade de um composto. Entre as mais empíricas podem-se referir as seguintes: ao tomar uma amostra na mão, esta não adere, não possui cheiro desagradável, a cor deve ser castanha escura, deve apresentar granulometria homogénea e não se consegue identificar o material original (Fernandes & Costa, 1997).

2.2.1. Temperatura

A temperatura é o factor mais importante para determinar se o processo de compostagem se processa correctamente, desde que as restantes variáveis se encontrem em níveis adequados. O aumento da temperatura de um material é indicativo da actividade biológica nesse material e, por isso, indirectamente, do seu grau de decomposição / estabilização (Beata-Hall *et al.*, 2002; Brito, 2005 e Day & Shaw, 2005).

A temperatura do material depende do balanço entre a produção de calor e a sua libertação. A produção de calor depende da velocidade a que a decomposição se processa (ou da velocidade a que os microrganismos crescem e actuam) e esta depende do teor de humidade, arejamento e relação C/N da mistura dos materiais, da forma e do tamanho da pilha de compostagem (que afecta o arejamento e a dissipação do calor da pilha) e da temperatura exterior à pilha (Brito, 2005).

Durante a compostagem ocorrem três fases principais:

- Fase inicial ou de crescimento mesófilo
- Fase intermédia ou termófila
- Fase final ou de maturação (Day e Shaw, 2005) (Figura 2).

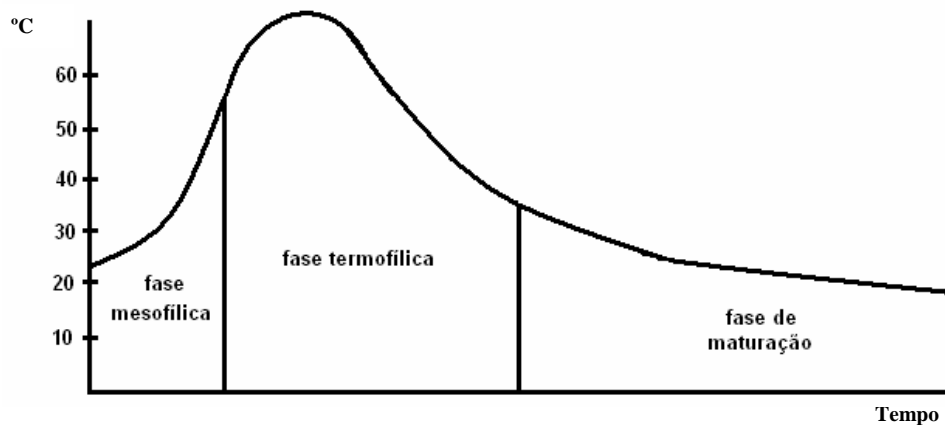


Figura 2: Evolução do processo de compostagem

A fase inicial ou de crescimento mesófilo dura pouco tempo (Day & Shaw, 2005), ocorrendo durante as primeiras 24-48 horas (Hoitink *et al.*, 1997) pois a abundância de substratos assegura uma grande actividade microbiológica, ocorrendo um rápido aumento da temperatura (Day & Shaw, 2005). Esta fase dura até que a temperatura se eleve até aos 40-50 °C sendo decompostas as substâncias de degradação mais fácil (hidratos de carbono, lípidos e proteínas) (Hoitink *et al.*, 1997 e Day & Shaw, 2005), dominando as bactérias mesófilas consumidoras destas substâncias (Hoitink *et al.*, 1997).

A actividade dos microrganismos proporciona grande quantidade de energia calorífica metabólica, originando um incremento da temperatura. As condições tornam-se menos favoráveis para estes organismos em favor das bactérias termófilas, actinomicetes e fungos. A compostagem entra então na fase termofílica. A actividade dos organismos causa um incremento da temperatura que pode ultrapassar os 65 – 70 °C. É durante esta fase que ocorre a maior higienização do material, consistindo na destruição da maioria dos patogénicos, sementes e libertação de fitotoxinas por via térmica (Day & Shaw, 2005).

Com a redução das fontes nutritivas, a actividade microbiana decresce, a temperatura diminui voltando-se a uma etapa mesofílica e o material entra em fase de maturação (Day e Shaw, 2005).

A temperatura pode assim ser um parâmetro que nos indica a evolução do processo. Segundo Stentiford (1993) e Beata-Hall *et al.* (2002), a máxima higienização ocorre a

temperaturas superiores a 55 °C. A máxima biodegradação tem lugar a temperaturas compreendidas entre os 45 e os 55 °C e a máxima actividade microbiana ocorre a temperaturas mesofílicas, entre 35 e 40 °C. A temperatura não deve permanecer durante muito tempo acima de 60 °C, pois muitos microrganismos morrem, originando um abrandamento da decomposição da matéria orgânica (Beata-Hall *et al.*, 2002).

2.2.2. pH

Durante a compostagem o pH pode ser outro indicador da evolução do processo. No início é ligeiramente ácido, dependendo do tipo de material da mistura (Boulter *et al.*, 2000). Nesta fase inicial verifica-se que o pH desce ligeiramente, devido à libertação de ácidos orgânicos (Torres *et al.*, 2003), pela actividade dos fungos e bactérias ao digerirem a matéria orgânica (Brito, 2005). Estes ácidos são posteriormente decompostos até estarem completamente oxidados. Este decréscimo do pH favorece o crescimento de fungos e a decomposição da celulose e da lenhina (Brito, 2005).

Com o avanço do processo, o pH sobe, chegando à alcalinidade como resultado da libertação de amoníaco provocada pela decomposição de proteínas (Day & Shaw, 2005). Apesar do pH final óptimo estar compreendido entre 6,5 e 8,5, é possível utilizar materiais com valores mínimos de pH entre 5,0 e 6,5 e um máximo de 11,0. Os compostos com pH muito elevado, devem ser evitados uma vez que podem conduzir à perda de azoto na forma de NH_3 , assim como produzir odores (Day & Shaw, 2005).

A Figura 3 pretende representar graficamente a evolução do pH durante o processo da compostagem.

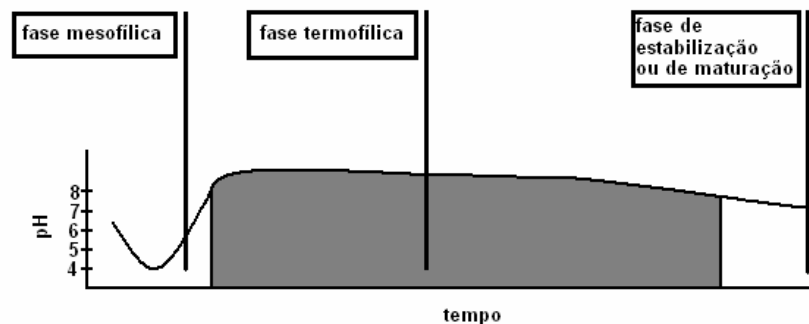


Figura 3: Evolução do pH durante a compostagem

2.2.3. Condutividade eléctrica (CE)

A condutividade eléctrica (CE) traduz-se na concentração de sais solúveis presentes na solução do substrato (Abad *et al.*, 2004), depende da natureza dos produtos iniciais e da lixiviação que eventualmente possa ocorrer durante o processo (Reis, 1997).

A condutividade eléctrica não proporciona informação sobre as classes de sais presentes. Alguns catiões ou aniões são nutrientes tais como Ca, Mg, SO_4^{2-} ou NO_3^- . Os sais de Na, Cl ou B podem ser tóxicos para as plantas a elevadas concentrações (Sullivan & Miller, 2005). A condutividade eléctrica tende a diminuir com a compostagem. Logo, a incorporação de compostos orgânicos mal amadurecidos ao solo aumenta a concentração de sais e logo a sua condutividade eléctrica devido à salinidade do composto (Brito, 2005).

A CE bastante elevada pode também impedir o desenvolvimento das plântulas ao contribuir para o aumento do potencial osmótico (Éliard, 1999). Os conteúdos elevados de sal de um composto afectam a germinação das sementes e o estado sanitário das raízes. A condutividade eléctrica mais apropriada para a germinação das sementes e crescimento das plântulas deve estar compreendida entre 0,75 e 1,99 dS m^{-1} (no extracto de saturação do substrato) (Abad *et al.*, 2004).

As culturas são muito diferentes quanto à tolerância aos sais. O feijão e a cebola, por exemplo, são muito sensíveis à salinidade (Sullivan & Miller, 2005).

2.2.4. Humidade

O conteúdo de humidade da biomassa é um factor importante para se conseguir um óptimo processo de compostagem. Na maioria das situações, valores de humidade compreendidos entre 40 e 60 % são os mais adequados (Day & Shaw, 2005).

A água é fundamental para a actividade dos microrganismos, devendo os nutrientes estar dissolvidos na água para serem assimilados por estes (Day & Shaw, 2005).

Valores de humidade inferiores a 40 % podem ser limitantes, levando à paragem do processo. Um conteúdo de humidade excessivo (superior a 60 %) no composto impede a difusão do oxigénio para os organismos presentes, levando à asfixia destes, tendo como consequência um processo anaeróbico, com a possível emissão de odores (Day & Shaw,

2005), a libertação de substâncias tóxicas, tais como metano e ácido acético (Senesi & Brunetti, 1996), e podendo ainda ocorrer perdas de nutrientes e organismos por lixiviação (Day & Shaw, 2005).

2.2.5. Carbono (C), Azoto (N) e relação C/N

A composição elementar do composto depende muito dos tipos de materiais iniciais com que se começou o processo. De qualquer modo, o carbono (C) e o azoto (N) são essenciais para o processo da compostagem. A pilha de compostagem deve ser uma mistura de materiais ricos em carbono e com suficiente azoto. Os materiais com carbono em abundância fornecem a matéria orgânica e a energia para a compostagem (Day & Shaw, 2005). Os materiais azotados aceleram o processo, uma vez que o azoto é essencial ao crescimento dos microrganismos, pois é um constituinte das proteínas, as quais representam aproximadamente metade da massa das células microbianas. O rápido crescimento dos microrganismos está dependente da disponibilidade de azoto na mistura de materiais a compostar. No entanto, se os microrganismos não conseguirem usar o azoto por falta de carbono disponível, este acumula-se e será perdido por volatilização como amoníaco ou por lixiviação e desnitrificação dos nitratos (Brito, 2005). A nitrificação e desnitrificação ocorrem com mais frequência quando as biomassas têm um grande conteúdo de resíduos verdes. As perdas de azoto por lixiviação apenas ocorrem em condições desfavoráveis para a compostagem (Körner & Stegmann, 1998). As maiores perdas de azoto resultam da volatilização do amoníaco, principalmente quando se areja a pilha de compostagem (Brito, 2005 e Raviv *et al.*, 2005).

Körner & Stegmann (1998) referem que em meios básicos as perdas de azoto na forma de amoníaco são mais elevadas do que em meios ácidos. Na compostagem, a utilização de materiais com elevada relação C/N e pH ácido contribuem para a menor perda de azoto durante o processo (Raviv *et al.*, 2005).

Num composto, o azoto total é a soma das suas formas orgânica e inorgânica. Os nitritos são insignificantes, representando menos de 0,2 % (Sullivan & Miller, 2005).

Quando se prepara a pilha de compostagem, esta deve ser constituída por uma mistura com uma proporção de 2/3 de materiais ricos em carbono e 1/3 de materiais azotados (Brito, 2005).

Durante a compostagem 2/3 do carbono são libertados como CO₂, sendo utilizado pelos microrganismos na obtenção de energia, o restante 1/3, em conjunto com o azoto, é utilizado para constituir as células microbianas (Brito, 2005).

Uma vez que o carbono orgânico é utilizado e também libertado sob a forma de CO₂, a concentração de carbono diminui à medida que o processo avança (Sullivan & Miller, 2005).

Para se conseguir que o processo seja eficiente é muito importante que a relação C/N seja correcta. Vários autores referem que no início da compostagem, esta relação deve ser próxima de 30 (Brito, 2005).

Uma relação C/N inferior a 20 faz com que o carbono seja completamente utilizado sem que ocorra a utilização completa do azoto, e o excesso pode ser perdido sob a forma de amoníaco (Day & Shaw, 2005), por volatilização ou lixiviação (Rynk & Richard, 2005).

Pelo contrário, uma relação C/N superior a 30 provoca o crescimento retardado dos microrganismos devido à falta de azoto (Teixeira *et al.*, 2004), causando menor degradação do carbono aumentando a temperatura mais lentamente (Brito, 2005). Nestas condições verifica-se a maior duração do processo até que os microrganismos oxidem o excesso de carbono e que a relação C/N seja mais apropriada ao seu metabolismo (Teixeira *et al.*, 2004 e Day & Shaw, 2005).

A relação C/N é indicadora do grau de decomposição e maturação do composto final, assim como da finalidade a dar ao composto (Boulter *et al.*, 2000).

Verifica-se uma ligeira divergência sobre a relação C/N adequada para um composto maturado. Vários autores referem que a relação C/N final deve estar compreendida entre 10 e 20 (Ferreira *et al.*, 2002 e Brito, 2005).

Durante a compostagem é de esperar que o valor da relação C/N desça (Teixeira *et al.*, 2004 e Sullivan & Miller, 2005).

2.2.6. Matéria Orgânica

A matéria orgânica inclui uma grande variedade de substâncias, desde seres vivos, a tecidos mortos vegetais e animais em vários graus de decomposição bem como uma mistura complexa de material orgânico já decomposto e modificado ou sintetizado de novo. Engloba um grupo de substâncias não húmicas bem definidas quimicamente (glúcidos, proteínas, ácidos gordos, lípidos, ácidos nucleicos e lenhinas) e substâncias húmicas (ácidos fúlvicos, húmicos e huminas) (Varenes, 2003).

Os sólidos voláteis, uma aproximação ao conteúdo de matéria orgânica, diminuem durante a compostagem. Normalmente, cerca de metade da matéria orgânica inicial perde-se durante o processo (Sullivan & Miller, 2005), como compostos de carbono de decomposição, perdendo-se sob a forma de amoníaco e compostos orgânicos voláteis que evaporam para a atmosfera (Rynk & Richard, 2005).

O teor de matéria orgânica de um composto de qualidade, depois de estabilizado, varia segundo diferentes autores, sendo o valor mais baixo encontrado na bibliografia de 18 % referido por Ferreira *et al.* (2002).

2.2.7. Densidade aparente

A densidade aparente, ou peso da unidade de volume de um composto, é afectada pelo tamanho das partículas e pelo grau de decomposição. Geralmente aumenta com o tempo de compostagem, diminuindo o tamanho das partículas (Sullivan & Miller, 2005).

Com o aumento da densidade aparente, as condições de drenagem e a porosidade para o ar diminuem, assim como se incrementa a capacidade de retenção de água (Sullivan & Miller, 2005).

Em horticultura protegida, onde o vento não é considerado factor limitante, a densidade aparente de um substrato pode atingir valores baixos, como $0,15 \text{ g cm}^{-3}$ (Abad *et al.*, 2004).

2.2.8. Tamanho das partículas

O tamanho das partículas é outro factor importante durante a compostagem, diminuindo ao longo do processo devido à actividade microbiológica (Hirrel & Riley, s/d e Raviv *et al.*, 1987), afectando a retenção de água e a porosidade do composto (Torres *et al.*, 2003). O processo de decomposição inicia-se junto à superfície das partículas, onde exista oxigénio difundido na película de água que as cobre, e onde o substrato seja acessível aos microrganismos e às suas enzimas extra-celulares. As partículas mais pequenas têm uma superfície específica maior sendo, com arejamento adequado, degradadas mais rapidamente, dado que mais material orgânico fica disponível para os microrganismos (Brito, 2005).

A granulometria influencia bastante as propriedades físicas dos compostos (Miner, 1994 e Brito, 2005). Os materiais com partículas de maiores dimensões têm maior espaço de arejamento e mais alta porosidade, tendo propriedades inversas aos que têm partículas mais pequenas (Miner, 1994 e Day & Shaw, 2005). A presença de partículas mais pequenas faz com que a porosidade total diminua e aumente a quantidade de água retida, aumentando os microporos que são os responsáveis pela retenção de água (Miner, 1994; Abad *et al.*, 2004) e diminuindo os macroporos responsáveis pelo arejamento (Miner, 1994; Abad *et al.*, 2004 e Brito, 2005). Nestas situações são ainda aumentados os riscos de compactação (Brito, 2005).

Uma vez que a decomposição aeróbica se faz sobre a superfície das partículas, ao aumentar a relação superfície/volume destas, pela diminuição do tamanho das mesmas, incrementa-se a intensidade da compostagem. É necessário que haja um compromisso em relação ao tamanho das partículas (Abad *et al.*, 2004 e Day & Shaw, 2005). Apesar do tamanho ideal ser difícil de especificar uma vez que depende da matéria-prima, evolução do processo, sistema de arejamento e muitos outros factores dinâmicos, partículas com diâmetros compreendidos entre 3 e 50 mm proporcionam bons resultados (Day & Shaw, 2005). A compactação também influencia os macroporos, estando relacionados com o tamanho das partículas (Abad *et al.*, 2004 e Day & Shaw, 2005).

Segundo Brito (2005) as partículas devem ter entre 1,3 cm e 7,6 cm. Abaixo deste tamanho seria necessário utilizar sistemas de ar forçado, enquanto que os valores superiores seriam mais aconselháveis para pilhas mais estáticas e sem arejamento forçado.

2.2.9. Volume de material

Durante a compostagem, metade ou mais de metade do volume da pilha é perdido com a decomposição dos materiais (Brito, 2005).

A diminuição de peso e volume causada pela compostagem resulta num aumento da concentração de nutrientes e reduz a necessidade em espaço para armazenamento e transporte (Brito, 2005).

2.2.10. Variáveis microbiológicas

A compostagem é um processo complexo em que intervêm uma ampla gama de microrganismos que degradam os resíduos orgânicos (Day & Shaw, 2005).

A sucessão dos microrganismos depende de vários factores que influenciam directa ou indirectamente o processo (Beaffa *et al.*, 1996b e Taiwo & Oso, 2004). A microbiota activa muda de predominantemente mesofílica nos estágios iniciais para predominantemente termofílica no auge da temperatura (Taiwo & Oso, 2004).

A diversidade microbiológica é fundamental para o processo da compostagem (Boulter *et al.*, 2000), reflectindo a qualidade do composto final (Goyal, *et al.*, 2005). Uma larga variedade de microrganismos desde bactérias a fungos, mesófilicos e termofílicos estão envolvidos durante este processo (Beffa *et al.*, 1996b e Day & Shaw, 2005), alternando ao longo do mesmo (Day & Shaw, 2005). Durante a compostagem, as bactérias são predominantes, sendo as principais responsáveis pela degradação da matéria orgânica (Day & Shaw, 2005).

O primeiro nível de consumidores são os microrganismos (Day & Shaw, 2005), estando também envolvidos invertebrados como nemátodos, anelídeos, térmitas e vários outros organismos, apesar dos principais agentes da decomposição da matéria orgânica serem os microrganismos heterotróficos (Taiwo & Oso, 2004 e Day & Shaw, 2005).

A temperatura é o factor que mais afecta a população dos microrganismos (Beffa *et al.*, 1996b e Day & Shaw, 2005), sendo determinante para a comunidade de organismos presentes na biomassa. Podemos separar estes organismos em criófilos e psicrófilos (0-25°C), mesófilos (25-45 °C) e termófilos (> 45 °C) (Day & Shaw, 2005). A divisão entre as temperaturas mesofílica e termofílica nem sempre é conhecida. Davis *et al.* (1992)

demonstraram que muitos mesófilos podem crescer a 60 °C e alguns até 80 °C e que muitos organismos termófilos crescem a temperaturas inferiores a 40 °C (Golueke, 1972).

As bactérias estão presentes durante todo o processo de compostagem, os fungos atingem a população máxima aos 7-10 dias depois do início do processo e os actinomicetes prevalecem nas etapas finais (Golueke, 1972).

A sucessão de microrganismos na compostagem depende de muitos factores que directa ou indirectamente interferem com a sua actividade. Assim depende do tipo de material inicial, da sua composição nutricional, conteúdo em humidade, temperatura, pH e arejamento (Taiwo & Oso, 2004).

Fungos

Os fungos existem sob a forma de micélios e alguns produzem esporos. São mais abundantes na proximidade da superfície, mas as hifas podem colonizar o meio (Pelczar *et al.*, 1981). Estes organismos são favorecidos em meios ácidos (pH < 5) (Golueke, 1972 e Bot & Benitez, 2005), mas a humidade baixa afecta o seu desenvolvimento (Finstein e Morris, 1975). Quando as temperaturas ultrapassam os 60 °C os fungos morrem ou estão presentes apenas na forma de esporos (Beffa *et al.*, 1986b).

Normalmente os intervalos de temperatura ideais para os fungos, estão compreendidos entre 22,5 e 45 °C (Finstein & Morris, 1975). Os basidiomicetos são os fungos com papel mais importante na degradação da lenhina (Day & Shaw, 2005). O limite para a actividade fúngica parece ser 60 °C; abaixo desta temperatura, a espécie *Aspergillus fumigatus* é o termófilo, mas os seus esporos toleram temperaturas superiores a 60 °C. Este fungo é bastante importante na degradação de celulose e hemicelulose (Day & Shaw, 2005).

A actividade dos fungos contribui para a degradação de celulose, hemicelulose e lenhina, daí as diferenças nas populações nas diferentes fases de compostagem. (Goyal *et al.*, 2005). Os fungos mesófilos degradam os açúcares e podem decompor celulose e hemicelulose embora com menor intensidade que os fungos termófilos. Com o aumento da temperatura, a decomposição da matéria orgânica é intensificada (Ferreira & Sousa, 1998).

A lenhinocelulose é um grande reservatório de carbono, no entanto é um complexo cuja degradação implica a actividade de enzimas hidrolíticas e oxidativas. Os fungos são considerados os decompositores primários da lenhinocelulose (McCarthy & Willians, 1992).

Tem sido identificado maior número de espécies de fungos durante a compostagem do que de bactérias. As espécies que normalmente se encontram mais frequentemente pertencem aos géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma* e *Chaetomonium* (Day & Shaw, 2005).

Bactérias heterotróficas

As bactérias heterotróficas estão presentes durante todo o processo de compostagem. São a maioria dos organismos presentes, 100 vezes superior ao número de fungos (Day & Shaw, 2005). A população de bactérias depende do tipo de material e das condições locais, podendo sobreviver em meios anaeróbicos ou aeróbicos. As bactérias têm uma boa distribuição nas pilhas e decompõem sobretudo hidratos de carbono e proteínas (Graves & Hattemer, s/d).

Durante a fase com temperaturas mais altas, as bactérias mesófilas encontram-se em concentrações mais baixas prevalecendo as termofílicas. Assim que a temperatura desce abaixo dos 40 °C observa-se um repovoamento por parte das bactérias mesófilas (Day & Shaw, 2005).

Em compostagem de resíduos agrícolas foram identificadas, durante a fase mesofílica, bactérias pertencentes aos géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter* e *Alicalicenes*. Durante a fase termofílica, identificaram-se 87 % de bactérias pertencentes ao género *Bacillus* sp., como *B. subtilis*, *B. stearothermophilus* e *B. lichenniformis* (Day & Shaw, 2005).

Actinomicetes

Os actinomicetes são bactérias aeróbias saprófitas (Goodfellow & Willians, 1983), semelhantes aos fungos uma vez que formam um micélio (Day & Shaw, 2005).

Apesar de serem afectados por condições ácidas, os actinomicetes são comuns em muitos ambientes (Goodfellow & Willians, 1983) e capazes de resistir a condições adversas como a baixa humidade formando esporos (Day & Shaw, 2005).

A ubiquidade destes organismos deve-se à capacidade de utilizarem uma grande variedade de formas de carbono e produção de grande número de esporos (McCarthy & Willians, 1992).

A temperatura óptima para os actinomicetes é a mesofílica, no entanto algumas espécies conseguem resistir a altas temperaturas, tornando-se mais activos quando estas se aproximam e ultrapassam os 60 °C e quando os níveis de nutrientes diminuem (Nakasaki *et al.*, 1985a).

Para facilitar a degradação de fontes insolúveis e polímeros, os actinomicetes segregam uma variedade de enzimas extracelulares (McCarthy & Willians, 1992).

Os actinomicetes colonizam o composto mais lentamente do que os fungos e as restantes bactérias, distribuindo-se principalmente a cerca de 15 cm da superfície num material bem arejado. Em áreas mal arejadas a colonização é mínima (Lacey, 1973). Em ambientes com 25 - 30 °C e pH compreendido entre 5 e 9, estes organismos são o grupo mais representado na degradação (Goodfellow & Willians, 1983 e McCarthy & Willians, 1992).

Estas bactérias decompõem celulose, hemicelulose e lenhina. São os responsáveis pelo odor a “terra fresca” que aumenta de intensidade à medida que o processo avança (Day & Shaw, 2005). Competem com os fungos e restantes bactérias apenas quando os níveis de nutrientes diminuem (Nakasaki *et al.*, 1985a).

Actinomicetes pertencentes aos géneros *Micromonospora*, *Streptomyces* e *Actinomyces* encontram-se com frequência no material a compostar (Golueke, 1972 e Day & Shaw, 2005).

2.3. Sistemas de compostagem

Qualquer sistema de compostagem deve ter em conta três objectivos fundamentais: deve ser o mais rápido possível; consumir pouca energia e garantir um produto final com boas propriedades para o uso agrícola, nomeadamente não deve conter organismos patogénicos nem contaminantes para evitar riscos durante a sua utilização. Para alcançar estes objectivos, é necessário criar as condições para que o processo seja eficaz (Beata-Hall *et al.*, 2002).

As pilhas de compostagem são um dos sistemas de compostagem utilizados, podendo o processo ocorrer em pilhas estáticas com ventilação forçada ou com reviramento mecânico.

2.3.1. Pilha estática com ventilação forçada

A compostagem em pilhas estáticas com ventilação forçada teve início nos anos setenta, sendo utilizada para biosólidos das instalações de tratamento de águas residuais (Rynk & Richard, 2005).

A ventilação forçada é empregue para melhorar o arejamento, reduzir o tempo do processo, diminuir os odores associados com a compostagem dos biosólidos (Rynk & Richard, 2005) e manter níveis de oxigénio superiores a 18 % (Torres *et al.*, 2003).

Para arejar e ventilar o material em compostagem este método de arejamento baseia-se na utilização de ventiladores. Não têm lugar os reviramentos nem a agitação (Rynk & Richard, 2005).

As pilhas são construídas em cima de um sistema de tubos de arejamento que proporcionam e difundem o ar através dos materiais. O arejamento forçado fornece o oxigénio, arrefece a pilha e elimina o vapor de água, dióxido de carbono e outros produtos em decomposição (Rynk & Richard, 2005).

2.3.2. Pilha com reviramento mecânico

É o sistema mais simples e antigo utilizado no processo da compostagem no qual, as pilhas são reviradas periodicamente (Rynk & Richard, 2005). Segundo Torres *et al.* (2003), os reviramentos devem ter lugar sempre que se alcance uma temperatura superior a 55 °C.

Reviramento:

O reviramento mistura e combina os materiais da pilha de forma homogénea, liberta gases e o calor que se encontra no interior da mesma, troca o material frio e oxigenado do exterior pelo mais quente e pobre em oxigénio do interior. Dependendo dos materiais e da agressividade dos equipamentos de reviramento, este pode também reduzir o tamanho das partículas (Rynk & Richard, 2005).

As pilhas de compostagem devem ser reviradas frequentemente para expor todas as partes a altas temperaturas, produzindo um produto homogéneo livre de patogénicos e sementes de infestantes (Hoitink *et al.*, 2005).

2.4. Qualidade de um composto

O indicador fundamental da qualidade de um composto é a resposta observada no desenvolvimento das plantas (Sullivan & Miller, 2005).

O conteúdo em nutrientes de um composto, especialmente o azoto assimilável pela planta, é o mais importante quando o composto é aplicado como suplemento ou substituto de outras fontes de nutrientes, assim como o teor de matéria orgânica (Sikora & Szmidt, 2005).

Para venda ao público, normalmente o composto necessita de estar maturado e bem decomposto. Para a utilização agrícola o composto deve ser isento de fitotoxicidade, assim como o grau de maturação e a estabilidade biológica são factores importantes para a sua utilização (Sullivan & Miller, 2005).

É necessário que o composto seja formado por partículas de tamanho adequado, conforme o fim a que se destina, particularmente no caso dos compostos para usar como

substratos para culturas sem solo ou correções orgânicas para relvados dos *greens* dos campos de golfe (Sullivan & Miller, 2005).

A qualidade de um composto depende do seu teor em matéria orgânica, humidade, da presença de substâncias estranhas como vidros, plásticos, metais, pedras e sementes e do teor em metais pesados (Ferreira *et al.*, 2002).

Os parâmetros de qualidade dos compostos para uso agrícola estão referidos no Quadro 1.

Quadro 1: Parâmetros de qualidade para compostos de origem animal e vegetal

Parâmetro	Valor aconselhável	Valor máximo legal
Matéria Seca (%)	> 60	-
Matéria Orgânica (%)	> 18	-
pH (em água)	6,5-8	8,5
Granulometria	99 % < 40mm 90 % < 25 mm	
Impurezas (> 5mm) (%)	0	0,5
Pedras (> 5mm) (%)	0	2
Azoto total (%)	> 0,75	-
Potássio Total (K ₂ O) (%)	> 0,75	3
Fósforo Total (P ₂ O ₅) (%)	> 0,50	-
Magnésio Total (MgO) (%)	> 0,35	-
Cálcio Total (CaO) (%)	> 2,6	-
Metais Pesados:*		
Cádmio (Cd) (mg/kg)		5
Chumbo (Pb) (mg/kg)		500
Cobre (Cu) (mg/kg)		600
Crómio (Cr) (mg/kg)		600
Mercúrio (Hg) (mg/kg)		5
Níquel (Ni) (mg/kg)		200
Zinco (Zn) (mg/kg)		1500

Fonte: Ferreira *et al.*, 2002; * Gonçalves & Baptista, 2004

2.5. Índice de Germinação

Um composto com propriedades físicas, físico-químicas ou químicas desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal, como a condutividade eléctrica elevada, presença de ácidos alifáticos de cadeia curta, compostos fenólicos, etc., inibem a germinação das sementes e reduzem o crescimento da radícula (Abad *et al.*, 1997).

A reutilização de resíduos agrícolas pode implicar problemas de toxicidade que podem ter sérias consequências para as plantas. A fitotoxicidade depende da composição química provocada por substâncias orgânicas e inorgânicas que causam salinidade, desordens nutritivas ou alterações hormonais (enzimas ou hormonas) (Ortega *et al.*, 1996).

Para a caracterização agronómica de um composto, os ensaios biológicos são de grande importância, existindo uma estreita relação entre os resultados obtidos e a potencialidade destes compostos como substratos hortícolas (Ortega *et al.*, 1996).

Os compostos com índice de germinação superior a 50 % são considerados adequados para o uso agrícola, no entanto, no caso de substratos este valor deve ser superior 65 – 70%.

O índice de germinação permite avaliar a evolução do composto, sendo provavelmente a prova mais útil para a monitorização do processo (Stentiford, 1993).

2.6. Valor Agronómico do composto

Na obtenção do composto, os materiais são muito distintos entre si, conseqüentemente também os produtos resultantes têm propriedades diferentes (Capitán *et al.*, 1997; Abad *et al.*, 2004), que implicam a utilização do composto para diferentes fins.

Os compostos de resíduos provenientes da actividade agrícola podem ser aproveitados para se conseguir uma agricultura mais sustentável. Deste modo, podem ser aplicados ao solo, utilizados como substratos hortícolas na actividade viveirista ou em culturas sem solo.

2.6.1. Aplicação de compostos aos solos

Quando aplicados ao solo, os compostos apresentam algumas vantagens, a nível da melhorias das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Parte da matéria orgânica do solo perde-se na forma de CO₂ para a atmosfera, sendo necessário adições constantes para manter o nível adequado nos solos agrícolas, pois nos ecossistemas naturais há um equilíbrio entre as perdas e os ganhos de matéria orgânica (Varenes, 2003). Em Portugal, a maioria dos solos são pobres em matéria orgânica,

devido às condições climáticas verificadas durante os meses mais quentes, que favorecem a sua mineralização (Santos, 1996).

A matéria orgânica incorporada no solo através dos compostos beneficia os seguintes aspectos:

- Aumento da fertilidade e a produtividade dos solos (Torres *et al.*, 2003);
- Aglomeração das partículas minerais, favorecendo a estrutura do solo e diminuição da erosão (Santos, 1996);
- Incremento da capacidade de troca catiónica e do poder tampão do solo, o qual contribui para a estabilização e melhoria do pH (Santos, 1996);
- Maior disponibilidade de macro e micronutrientes no solo, de forma gradual (Santos, 1996);
- Degradação ou imobilização de algumas substâncias fitotóxicas (Torres *et al.*, 2003);
- Aumento da capacidade de absorção de nutrientes (Torres *et al.*, 2003);
- Maior germinação das sementes (Torres *et al.*, 2003);
- A cor mais escura dos solos aumenta a absorção das radiações caloríficas, contribuindo para o aumento e regulação da temperatura (Santos, 1996);
- Aumento da porosidade, contribuindo para a diminuição da densidade aparente, afectando positivamente a permeabilidade do solo (Torres *et al.*, 2003), beneficiando particularmente os solos mais pesados (Labrador, 1996);
- Melhoria da capacidade de infiltração do solo, reduzindo a erosão (Torres *et al.*, 2003);
- Aumento da capacidade de retenção de água, diminuindo as perdas hídricas e de nutrientes, tornando mais compactos os solos arenosos (Labrador, 1996);
- Redução da evaporação e melhora o balanço hídrico dos solos (Labrador, 1996);
- Maior desenvolvimento da população microbiana (Pera *et al.*, 1983);
- Em solos activos, estão presentes grandes quantidades de vitaminas, estimulantes naturais do crescimento vegetal e antibióticos (Labrador, 1996).

2.6.2. Utilização de compostos como substratos hortícolas

Em horticultura, o termo substrato aplica-se a qualquer material sólido, distinto do solo, natural, de síntese ou residual, mineral ou orgânico, que colocado num contentor, estreme ou em mistura, permite o desenvolvimento do sistema radicular, desempenhando um papel de suporte da planta (Abad *et al.*, 2004).

Os substratos orgânicos são utilizados na actividade viveirista. O principal material orgânico utilizado na preparação dos substratos tem sido a turfa, em especial na cultura em placas alveoladas e vasos (Reis, 1997).

A utilização de turfa como substrato para culturas hortícolas não é sustentável, pois apesar de ser um excelente substrato de crescimento, trata-se de um recurso limitado e não renovável contribuindo, a sua utilização, para a alteração do ecossistema. Os depósitos de turfa funcionam como importantes locais de fixação de CO₂ atmosférico cuja destruição contribui para o enriquecimento da atmosfera neste gás (Abad *et al.*, 2004). Estas desvantagens da utilização da turfa, associadas ao seu preço elevado, serão favorecidas pela sua substituição por materiais alternativos (Lozano *et al.*, s/d; Stoffella, 1996 e Abad *et al.*, 2001). Os compostos podem substituir total ou parcialmente a turfa, reduzindo os impactos ambientais e os custos (Stoffella, 1996), pois diminuem a necessidade de recorrer à fertilização e à irrigação (Stoffella, 1996).

Qualquer substrato agrícola deve produzir uma planta de qualidade, no mais curto período de tempo, com os mais baixos custos de produção, tendo as propriedades físicas, físico-químicas, químicas e biológicas extrema importância para que o composto possa ser utilizado como substrato para culturas hortícolas. No entanto, os níveis de cada um dos factores podem variar em função das exigências de cada espécie, do ambiente, das práticas culturais, etc. (Abad *et al.*, 2004).

Os substratos usados em viveiros, para além de permitirem a germinação das plantas, devem ser de fácil preparação e manejo, perturbando ao mínimo as raízes, de textura fina, com estrutura estável e fluida, elevada capacidade de retenção de água, permitindo que a humidade permaneça constante e baixo nível de salinidade. As características físicas do substrato são de extrema importância, pois após a sementeira ou plantação não é possível modificá-las, contrariamente ao que acontece com as propriedades químicas que podem ser alteradas (Abad *et al.*, 2004).

Quando os compostos são utilizados como substratos, as relações ar-água adquirem maior importância.

Capacidade de arejamento

A capacidade de arejamento é definida como a proporção de volume do substrato que contem ar depois deste ter sido saturado com água e deixado a drenar (Abad *et al.*, 2004).

As raízes requerem oxigénio para manter a actividade metabólica e crescimento. Assim, o *deficit* temporal de oxigénio pode reduzir o crescimento das raízes e da parte aérea (Abad *et al.*, 2004).

Os microrganismos, para a sua sobrevivência, também requerem oxigénio. Deste modo, nos substratos orgânicos, onde existe uma elevada população microbiana, as plantas requerem o dobro do oxigénio que as cultivadas em substratos minerais (Abad *et al.*, 2004).

A distribuição do tamanho dos poros é um factor chave do estado hídrico e da quantidade de oxigénio dos substratos devendo, 20 a 30 % do volume do substrato ser compreendido pelos poros de maiores dimensões (Abad *et al.*, 2004).

Capacidade de retenção de água

A capacidade de retenção para a água é a quantidade de água retida nos poros depois das perdas por gravidade durante determinado período de tempo (Sullivan & Miller, 2005).

Água Facilmente Utilizável (AFU)

Esta variável é calculada pela diferença entre o volume de água retida no substrato, depois de ter sido saturado com água, e deixado drenar a 1 kPa, e o volume de água presente no mesmo a 5 kPa. A 1 kPa obtem-se um conteúdo mínimo de ar (De Boodt, *et al.*, 1974).

Este parâmetro é outro dos factores bastante importantes no que se refere às condições de humidade para permitir o crescimento vegetal. Os valores óptimos para a AFU estão compreendidos entre 20 e 30 % do espaço poroso total do substrato (Abad *et al.*, 2004).

Água de Reserva

A água de reserva define-se como a quantidade de água que se liberta num substrato, quando se passa de 5 para 10 kPa. O seu valor óptimo está compreendido entre 4 e 10 % do volume (Abad *et al.*, 2004).

Água Dificilmente Utilizável

Este parâmetro é definido como o volume de água retido pelo substrato a 10 kPa. Este foi o limite de tensão encontrado experimentalmente para o cultivo de plantas em substrato (Abad *et al.*, 2004).

De acordo com Abad *et al.* (2004), um composto de qualidade como substrato hortícola, deve apresentar as características expressas no Quadro 2.

Quadro 2: Características adequadas para um composto empregue como substrato

Parâmetro	Valor óptimo
Espaço Poroso Total	> 85 % volume
Capacidade de Arejamento	20 – 30 % volume
Água Facilmente Utilizável	20 – 30 % volume
Água de Reserva	4 – 10 % volume
Água Total	24 – 40 % volume
Tamanho das Partículas	Textura média a grosseira 0,25 – 2,5 mm
Dap (em estufa)	< 0,4 g cm ⁻³
Contração do Volume	< 30 %
CE – no extracto de saturação do substrato (dS m ⁻¹)	0,75 – 1,99
pH	5,2 – 6,3
Relação C/N	20 – 40
Matéria Orgânica Total (%)	> 80
Matéria Mineral Total (%)	< 20
Nutrientes assimiláveis	
Azoto total (ppm)	N-NO ₃ ⁻ 100 -199 ppm N-NH ₄ ⁺ 0 – 20 ppm
Potássio Total (K ⁺) (ppm)	150 – 249
Fósforo Total (P) (ppm)	6 – 10
Magnésio Total (Mg ²⁺) (ppm)	> 70
Cálcio Total (Ca ²⁺) (ppm)	> 200
Ferro (Fe) (ppm)	0,3 – 3,0
Manganês (Mn) (ppm)	0,02 – 3,0
Molibdénio (Mo) (ppm)	0,01 – 0,1
Zinco (Zn) (ppm)	0,3 – 3,0
Cobre (Cu) (ppm)	0,001 – 0,5
Boro (B) (ppm)	0,05 – 0,5

Fonte: Abad *et al.*, 2004

Os compostos provenientes de resíduos verdes são os que têm sido usados com mais sucesso no crescimento de plantas (Abad *et al.*, 2004).

O aproveitamento dos compostos na agricultura constitui uma alternativa bastante viável, tendo duplo benefício, do ponto de vista ambiental (pela redução de resíduos orgânicos) e agrícola (pelo aproveitamento da matéria orgânica) (Abad *et al.*, 1997).

Depois de utilizado, qualquer substrato, não deverá provocar impactos ambientais (Abad *et al.*, 2004).

2.7. Capacidade supressiva dos compostos

A aplicação de pesticidas ao solo causa a sua esterilização destruindo, para além dos patogénicos das plantas, os microrganismos benéficos como as micorrizas, agentes de biocontrolo e promotores do crescimento vegetal (De Ceuster & Hoitink, 1999).

Os compostos começam a ser reconhecidos como agentes de biocontrolo, apresentando capacidade supressiva para as doenças transmitidas pelo solo (Sesay *et al.*, 1997; Nico *et al.*, 2003 e Hoitink *et al.*, 2005), devido à maior disponibilidade de nutrientes, maior capacidade de troca catiónica e teor de matéria orgânica superior (Sesay *et al.*, 1997).

O processo de compostagem e o ambiente envolvente têm um impacto significativo na sobrevivência dos agentes de biocontrolo durante o processo (Hoitink *et al.*, 1993; Hoitink *et al.*, 1997 e Hoitink *et al.*, 2005).

Os patogénicos das plantas, assim como os agentes de biocontrolo, colonizam o composto depois de se ter atingido a temperatura máxima e são afectados pelo nível de decomposição da matéria orgânica (Hoitink *et al.*, 1993).

Altas concentrações de nutrientes livres (glucose, aminoácidos, entre outros) presentes nos resíduos frescos de culturas, reprimem a produção de enzimas requeridas para o parasitismo dos agentes de biocontrolo como *Trichoderma spp.* (Hoitink *et al.*, 1993 e De Ceuster & Hoitink, 1999). Na matéria orgânica com muita celulose, *Rhizoctonia solani* torna-se muito agressivo e o hiperparasitismo deste microrganismo patogénico por *Trichoderma hamatum* é suprimido, prevalecendo a doença (Hoitink *et al.*, 1993).

A matéria orgânica com propriedades características de uma fase intermédia de estabilização, será a que apresenta melhores características para controlo biológico, pois quando se encontra bem humificada, como as turfas escuras, não apresenta capacidade supressiva (Hoitink *et al.*, 1993 e De Ceuster & Hoitink, 1999).

O composto maturado é colonizado pelos agentes de biocontrolo, ocorrendo o hiperparasitismo sendo o patogénico erradicado prevalecendo o controlo biológico (Hoitink *et al.*, 1993 e Hoitink *et al.*, 1997).

Os compostos podem também induzir a resistência sistémica adquirida na planta hospedeira (Mandelbaum & Hadar, 1990).

A capacidade supressiva do composto pode ser devida a vários factores como características físicas, químicas e biológicas (Whipps, 1997a).

A composição base usada na preparação dos compostos afecta o potencial de controlo biológico assim como a microbiota activa (Hoitink *et al.*, 1997).

2.7.1. Factores que afectam a capacidade supressiva

Características Físico-químicas

A supressividade de doenças por parte do composto pode ser afectada ou alterada devido às características físicas e químicas do meio envolvente (Whipps, 1997a).

Sabe-se que factores como argila, pH, alumínio trocável, níveis de nutrientes (Ca, P, Mg), matéria orgânica (Whipps, 1997a), humidade, porosidade e mobilização do solo (Henis & Chet, 1975) afectam o desenvolvimento dos organismos (Whipps, 1997a).

O conteúdo de humidade do composto afecta o potencial para as bactérias mesófilas colonizarem o substrato na fase final. Compostos com teores de humidade inferiores a 34% favorecem a colonização por fungos e conduzem ao desenvolvimento de *Pythium*, sendo a sua eliminação induzida quando a humidade estiver compreendida entre 40 e 50%, de modo a permitir que as bactérias e outros fungos colonizem o meio (Hoitink *et al.*, 2005).

O pH do composto também afecta a recolonização por parte das bactérias benéficas. Um pH inferior a 5 inibe os agentes bacterianos de controlo biológico (Hoitink *et al.*, 2005).

Compostos muito salinos contribuem para o aumento da incidência de *Pythium* e *Phytophthora*, a não ser que sejam aplicados meses antes da plantação para que possam ser lexiviados (Hoitink *et al.*, 2005).

Os compostos com relação C/N baixa, ao libertarem grandes quantidades de azoto, incrementam o desenvolvimento de *Fusarium*, caso contrário, com a imobilização de azoto, verifica-se a eliminação do ataque de *Fusarium*, quando colonizados por uma microbiota apropriada (Hoitink *et al.*, 2005).

Para que os compostos possam ser utilizados no biocontrolo, devem ser de boa qualidade e estar estáveis, principalmente quando usados em substratos para contentores (Hoitink *et al.*, 1997 e Hoitink *et al.*, 2005). Deste modo, são capazes de inibir ou mesmo matar os patogénicos, caso contrário serve-lhes de alimento e a sua população aumenta (Hoitink *et al.*, 1997).

Características Biológicas

Os microrganismos benéficos podem competir com os agentes patogénicos através dos exudados das sementes, das raízes ou das folhas, produção de antibióticos, lises, indução de resistência nas plantas e parasitando os patogénicos (Hoitink *et al.*, 1997). O maior sucesso da supressividade implica combinações destes mecanismos (Boulter *et al.*, 2000).

2.7.2. Mecanismos de acção de capacidade supressiva

O composto pode incrementar a actividade microbiológica suprimindo a doença por combinações físico-químicas e características biológicas que incluem a competição por substâncias nutritivas, produção de antibióticos, enzimas líticas e de degradação da parede extracelular, parasitismo e indução de resistência (Boulter *et al.*, 2000).

Competição nutritiva

Nos compostos, o desenvolvimento da doença é impedido devido à alta actividade microbiológica uma vez que há competição pelas substâncias nutritivas (Hoitink *et al.*, 1993). Craft & Nelson (1992) concluíram que a capacidade supressiva de um composto é devida à elevada actividade microbiológica, resultando na competição com os patogénicos pelos exudados da raiz, componentes essenciais para o desenvolvimento do patogénico. A diminuição contínua de substâncias nutritivas, especialmente carbono e ferro (Whipps 1997a), leva a que os agentes patogénicos não germinem, permanecendo inactivos (Logsdon, 1990). Por vezes os propágulos dormentes como esclerócio, clamidósporos e oósporos podem ser estimulados para germinar, sendo no entanto incapazes de competir com microrganismos saprofitas activos levando à lise das células por falta de nutrientes (Boulter *et al.*, 2000).

Várias espécies de actinomicetes são capazes de causar a lise completa do micélio dos fungos através de competição nutritiva (Ko & Lockwood, 1970).

Antibióticos

Outro mecanismo de controlo biológico envolve a produção de antibióticos, produzidos pelos organismos benéficos e que inibem os patogénicos (Baker & Cook, 1974). Estes

metabolitos são produzidos pelos microrganismos antagonistas quando os nutrientes se tornam limitantes e normalmente têm baixo peso molecular (Lewis *et al.*, 1991). Apesar dos antibióticos com largo espectro de acção poderem eliminar ou reduzir microrganismos benéficos, a maior parte deles são mais selectivos para os patogénicos (O'Sullivan & O'Gara, 1992).

Enzimas líticas e extracelulares

Determinados organismos são capazes de produzir enzimas líticas e extracelulares reduzindo a competição por substâncias nutritivas, espaço e outros factores, sendo capazes de diminuir a população dos restantes organismos. A lise e a heterolise são um mecanismo de parasitismo usado por bactérias, fungos e outros organismos dos tecidos hospedeiros (Whipps, 1997a). Estes microrganismos produzem determinadas enzimas que provocam a hidrólise da maior parte dos constituintes das células dos fungos (Ko & Lockwood, 1970). As condições do solo que favorecem a lise são os altos teores de humidade e aumento da população bacteriana (Lockwood & Filonow, 1981). As enzimas líticas como as chitinases, proteases, amilases ou glucanases produzidas por bactérias e fungos, levam à degradação da matriz estrutural da parede celular de alguns fungos (Lorito *et al.*, 1994).

Parasitismo e predação

São três os mecanismos de inibição da actividade patogénica através do parasitismo. Os micoparasitas podem reduzir a concentração do inoculo do patogénico através da degradação de propágulos dormentes, interferindo na sua formação e/ou inibindo a sua germinação (Fokkema, 1993).

Muitos micoparasitas e fungos antagonistas são capazes de controlar microrganismos patogénicos penetrando nas paredes das suas células por uma combinação de pressão física e acção enzimática (Hoitink *et al.*, 1997).

A capacidade supressiva pode ser designada como supressividade geral ou supressividade específica. Os mecanismos baseiam-se em competição, actividade antibiótica ou hiperparasitismo.

Supressividade Geral

A supressividade geral resulta da actividade dos microrganismos na rizosfera ou na área que envolve as raízes (Hoitink *et al.*, 1990) e aplica-se, quando o controlo da doença se consegue devido à actividade de muitas espécies diferentes de microrganismos, competindo por espaço e nutrientes. Os propágulos dos patogénicos geralmente não diminuem rapidamente (Hoitink *et al.*, 1993).

A supressividade geral muitas vezes pode não controlar completamente a doença, mas contribui para diminuir a sua ocorrência e severidade dos patogénicos, reduzindo o controlo químico (Whipps, 1997a).

Os esporos de *Pythium* e *Phytophthora* spp. são suprimidos mediante o fenómeno de supressão geral (Hoitink *et al.*, 1993). Os esporos não germinam em resposta a substâncias libertadas sob a forma de exudados da semente ou da raiz. A biomassa e a actividade microbiana previnem a germinação dos esporos dos patogénicos e a infecção do parasita. Os esporos permanecem em dormência e geralmente não morrem ao serem introduzidos no composto (Mandelbaum & Hadar, 1990).

Supressividade Específica

O controlo biológico através da supressividade específica consegue-se através de uma única espécie ou grupo restrito de microrganismos com capacidade para controlar o agente patogénico (Hoitink *et al.*, 1993 e Hoitink *et al.*, 1997). Este processo refere-se ao efeito antagónico directo de um organismo sobre outro (Lo *et al.*, 1996), reduzindo a sua sobrevivência ou actividade e diminuindo a incidência da doença causada pelo patogénico (Garrett, 1965). O organismo responsável pelo efeito de supressividade pode ser transferido de um solo para outro, o que não se verifica na supressividade geral (Hoitink *et al.*, 1993).

No caso do controlo biológico de *Rhizoctonia solani* através de compostos, apenas um grupo limitado de microrganismos é capaz da sua erradicação (Hoitink *et al.*, 1991).

Trichoderma spp., incluindo *T. hamatum* e *T. harzianum*, são os hiperparasitas predominantes em compostos preparados com resíduos lenhino-celulosicos (Kuter *et al.* 1983).

Bacillus spp., *Enterobacter* spp., *Flavobacterium balustinum*, *Pseudomonas* spp., e outros géneros bacterianos e *Streptomyces* spp., *Penicillium* spp., vários *Trichoderma* spp., *Gliocladium virens* e outros fungos têm sido identificados como agentes de biocontrolo em compostos (Hoitink *et al.*, 2005). *Trichoderma* sp. é um agente de controlo efectivo de *R. solani*, capaz de ser inoculada no composto maturado ou não, sendo mais eficaz em combinação com algumas bactérias de controlo biológico (De Ceuster & Hoitink, 1999).

2.7.3. Resistência Sistemática Adquirida (SAR)

A resistência sistemática adquirida é um mecanismo de controlo biológico que induz a resistência das plantas, local e sistematicamente (Lucas, 1998). Pela colonização de várias estruturas das plantas, os agentes de biocontrolo adquirem mecanismos que podem prevenir ou diminuir a infecção do patogénico (Whipps, 1997a).

Este tipo de controlo pode ser induzido por substâncias químicas, agentes patogénicos e pelos microrganismos benéficos, resultando na defesa das plantas contra as doenças (Hoitink *et al.*, 1997).

Quando os compostos são aplicados ao solo, os microrganismos presentes são capazes de induzir as plantas a produzir determinadas enzimas relacionadas com mecanismos de defesa (Arshad & Frankenberger, 1991 e Lucas, 1998).

Este método de protecção biológica é devido à prévia ou simultânea inoculação com o microrganismo semelhante ao patogénico mas sem capacidade virulenta (Cook e Baker, 1983 e Lucas, 1998).

Este tipo de resistência está normalmente envolvido na expressão de um conjunto de genes na planta, incluído algumas proteínas com capacidades anti - fúngicas (Linthorst, 1991 e Ward *et al.*, 1991).

3. Material e Métodos

3.1. Condições de compostagem

O processo da compostagem decorreu nas instalações da Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve, num local coberto, com piso de betão e recolha de lexiviados.

Neste processo de compostagem foram utilizados três resíduos de origem agro-industrial vulgares na região: laranja de refugo proveniente da Cooperativa Agrícola de Citricultura do Algarve (CACIAL), bagaço de azeitona de uma exploração de extracção de azeite pelo método tradicional e aparas de relva provenientes do campo de golfe dos Salgados, na proporção de 2:1:1 em volume (Figura 4).



Figura 4: Aspecto das pilhas no início do processo

Os materiais foram utilizados sem ter havido nenhum tipo de trituração inicial, uma vez que o único material a triturar seria a laranja e esta dificultava o funcionamento do moinho de martelos, disponível para a operação.

A compostagem teve início a 27 de Novembro de 2004, tendo sido construídas duas pilhas de compostagem, designadas por pilha estática com ventilação (PV) e pilha com reviramento mecânico (PR). Inicialmente a pilha ventilada tinha 18,3 m³ de volume (6,03 m de comprimento, 2,53 m de largura e 1,21 m de altura) e a pilha revirada tinha 14,8 m³ de volume (5,85 m de comprimento, 2,63 m de largura e 0,96 m de altura) (Figura 5).

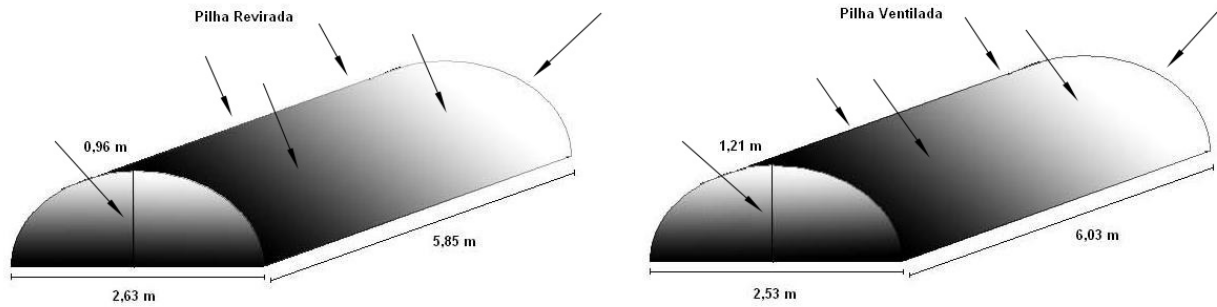


Figura 5: Dimensão das pilhas de compostagem e colheita das amostras, onde: ↓ colheita aleatória das amostras na pilha

As pilhas foram cobertas com tecido de polipropileno para evitar perdas de água excessivas por evaporação.

Na pilha ventilada o ventilador estava ligado a um tubo de PVC perfurado, com 10 cm de diâmetro e 16 metros de comprimento, disposto na parte central inferior da pilha (Figura 6). O ventilador era accionado quando a temperatura no interior da pilha atingia valores superiores a 60 °C. O arejamento da pilha ventilada fez-se por extracção do ar.



Figura 6: Ventilador instalado na pilha ventilada

Na pilha revirada, durante a compostagem foram realizados dois reviramentos, efectuados com a pá carregadora frontal de um tractor agrícola. O primeiro reviramento decorreu a 21 de Janeiro de 2005 e o segundo a 28 de Abril de 2005. Este último foi acompanhado por um fraccionamento mecânico efectuado com um cultivador rotativo,

para homogeneização do material, tendo sido feito também, nesta altura, um reviramento na pilha ventilada (Figura 7).

Durante a compostagem recorreu-se ao humedecimento das pilhas, sempre que a humidade descia para valores próximos de 40 %.



Figura 7: Reviramento com fraccionamento mecânico

3.2. Colheita das amostras

A frequência de amostragem variou durante a evolução do processo:

- no 1º, 3º e 6º dias
- cada 7 dias (durante 14 semanas)
- cada 14 dias (durante 8 semanas)
- cada 21 dias (no restante período de compostagem)

Colheram-se 32 amostras na pilha ventilada e 33 na pilha revirada.

As amostras foram colhidas, aleatoriamente na pilha, com um braço metálico, que permitia fazer a colheita à profundidade de, aproximadamente, 30 cm (Figura 5), com um volume de cerca de 10 – 15 L.

Foram determinados, em laboratório, variáveis físicas, químicas, físico-químicas, microbiológicas e biológicas.

No composto, com 151 dias (antes de se proceder ao 2º reviramento) e com 375 dias (no final do ensaio), foi ainda avaliado o comportamento agronómico dos compostos, como

substratos hortícolas em viveiros em placas alveoladas e a capacidade supressiva dos mesmos, a qual foi também determinada ao fim de 2 anos de compostagem.

3.3. Métodos para determinação das propriedades físicas

Para a determinação das propriedades físicas dos materiais seguiram-se as metodologias propostas por De Boodt *et al.* (1974) e Martinez (1992).

3.3.1. Granulometria

A granulometria foi determinada, segundo o método de Martinez (1992), tendo-se utilizado uma série de crivos que pudessem caracterizar adequadamente os diferentes materiais em estudo, tendo para tal sido usados crivos com as seguintes dimensões da malha (mm): 16; 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 e 0,125.

Crivaram-se em triplicado cerca de 200 g de amostra de material fresco seco ao ar, com um agitador mecânico (Retsch, A5200 digit) durante 10 minutos, com agitação intermitente. Pesou-se o material recolhido em cada crivo e expressaram-se os resultados em percentagem relativamente ao peso total do material crivado.

3.3.2. Densidade real (dr)

Tratando-se de materiais essencialmente orgânicos, estimou-se a densidade real (dr) a partir dos teores de matéria orgânica total e de cinzas, obtidos por calcinação, através da seguinte fórmula:

$$dr = \frac{100}{\frac{M.O.}{1,45} + \frac{M.M.}{2,65}}$$

Sendo:

dr: densidade real

M.O.: percentagem de matéria orgânica do material (= 100 - % cinzas)

M.M.: percentagem de matéria mineral do material (= % de cinzas)

3.3.3. Densidade aparente (dap)

Para determinação da densidade aparente (dap) utilizou-se uma adaptação do método de De Boodt *et al.* (1974), que consistiu em determinar directamente o teor de humidade e o peso seco do material, pesando o cilindro com o material húmido e posteriormente colocando o conjunto na estufa a 105 °C durante 24 horas.

Utilizaram-se dois cilindros de alumínio, com aproximadamente 8 cm de diâmetro interno. Estes foram colocados sobrepostos e unidos por uma banda de borracha, tendo o cilindro superior 3 cm e o inferior 4 cm de altura. Na base do conjunto colocou-se uma tela fina, fixa exteriormente por meio de um elástico.

Encheu-se o conjunto com material fresco, sem compactar, deixando a saturar durante 24 horas. Após este período os cilindros foram colocados numa caixa de areia, sujeitos à tensão de 10 cm de coluna de água. Decorridas 48 horas, ter-se-à alcançado o equilíbrio e retirou-se com muito cuidado a banda de borracha que une os cilindros e com uma faca afiada separou-se o material do cilindro inferior, sendo pesado e colocado a secar a 105°C. Relacionando o volume do cilindro e o peso fresco do material do cilindro obtém-se a densidade aparente “húmida” (dap_h). A relação entre o volume do cilindro e o peso seco a 105 °C dá-nos a densidade aparente “seca” (dap_s).

3.3.4. Espaço poroso total (EPT)

Este parâmetro foi calculado a partir dos valores da densidade aparente, referida ao material seco (dap_s), e da densidade real (dr), através da equação:

$$EPT = \left(1 - \frac{dap_s}{dr}\right) \times 100$$

3.3.5. Contração do volume (CTR)

Denominou-se por contração do volume a perda de volume experimentada por um substrato, quando após se encontrar em condições normalizadas de humidade, é sujeito a um processo de dessecação.

Este parâmetro foi quantificado quando, ao secar a 105 °C o material de cada cilindro utilizado na determinação da densidade aparente, se quantificou a contração ocorrida.

Para tal, após a secagem a 105 °C, mediu-se com uma craveira a altura em 4 pontos equidistantes e o diâmetro segundo duas direcções perpendiculares, calculando-se o volume do substrato seco. Relacionando este volume com o volume interno do cilindro obteve-se a contracção do volume.

3.3.6. Relações ar – água

Nas relações ar - água determinou-se: a capacidade de arejamento, a água facilmente utilizável, a água de reserva e a água dificilmente utilizável. Para determinação destes parâmetros seguiu-se o método de De Boodt *et al.* (1974). Este método baseia-se na determinação do teor de água retida pelo material, a tensões relevantes para os substratos, originados por uma coluna de água, de altura regulável, até 10 kPa (aproximadamente 100 cm de coluna de água). Conhecido o espaço poroso total e relacionando a tensão aplicada e a quantidade de água extraída, obtém-se o gráfico denominado por curva de libertação de água.

Utilizaram-se copos de filtração nº4, com uma torneira de duas vias e encaixe de vidro esmerilado, colocados sobre uma rampa que permite a instalação de 6 copos. Estes foram cheios com cerca de 2 a 3 cm de altura de material, sem compactar. O material foi saturado adicionando água lentamente, evitando que este possa flutuar. O conjunto foi coberto com um filme plástico para evitar a perda de água por evaporação.

Assim, o método de De Boodt permitiu a determinação das seguintes características:

Capacidade de arejamento (CA)

Calculado pela diferença em percentagem de volume, entre o espaço poroso total e o teor de água à tensão de 1 kPa.

Água facilmente utilizável (AFU)

Calculado a partir da percentagem de volume de água libertada pelo substrato quando a tensão aumenta de 1 para 5 kPa.

Água de reserva (AR)

Calculando a percentagem de volume de água libertada pelo substrato quando a tensão aumenta de 5 para 10 kPa.

Água dificilmente utilizável (ADU)

Corresponde à percentagem em volume de água retida à tensão igual ou superior a 10 kPa.

3.4. Métodos para determinação das propriedades químicas

3.4.1. Matéria Orgânica (M.O.) e Matéria Mineral (M.M.)

A determinação destas duas variáveis efectuou-se por gravimetria indirecta (via seca), de acordo com o método de Ramos *et al.* (1987), pesando 1 a 2 g de amostra, seca a 105 °C e moída, para um copo de porcelana pré-calcinado a 560 °C durante 30 minutos. A amostra foi pré-calcinada até deixar de libertar fumos e calcinou-se na mufla (Cassel, 1991) a 560°C durante 3 horas.

Os cálculos foram determinados através das seguintes expressões:

$$M.M.(%) = \frac{c - a}{b - a}$$

$$M.O.(%) = 100 - M.M.$$

Sendo:

a (g) = Peso do copo de porcelana depois de pré-calcinado

b (g) = Somatório do peso inicial da amostra moída e do copo de porcelana pré-calcinado

c (g) = Somatório do peso final da amostra moída e do copo de porcelana pré-calcinado

Determinação do azoto Kjeldhal

Para determinação do azoto Kjeldhal recorreu-se ao método de Kjeldhal. Este método baseia-se na acção do ácido sulfúrico concentrado na presença de determinados catalizadores, sobre as formas azotadas existentes na amostra, as quais são transformadas em sulfato de amónio. Este por acção de hidróxido de sódio concentrado liberta amoníaco que é fixado num soluto de título conhecido. Por titulação com o soluto conhecido e na presença de um indicador determina-se a quantidade de amoníaco fixada e consequentemente a quantidade de azoto contida na amostra.

Na preparação da amostra pesou-se aproximadamente 1 g desta, previamente seca e moída, num papel Whatman nº 42, tendo este sido enrolado e colocado num tubo de Kjeldhal. Adicionou-se o catalizador e 25 mL de ácido sulfúrico, procedendo-se à digestão (a uma temperatura de 350 °C), realizada na hote, num digestor, onde foram colocados os tubos de Kjeldhal, adaptado a uma trompa de vácuo.

Seguiu-se a destilação, sendo adicionado NaOH (35 %) aos tubos de Kjeldhal para neutralizar o meio. O destilado seguiu para um erlenmeyer com uma solução de 10 mL de ácido bórico a 10 % e 4 gotas de indicador misto.

A titulação foi feita com uma solução de ácido clorídrico a 0,1N.

Para quantificar o azoto Kjeldhal recorreu-se à seguinte equação:

$$N(\%) = \frac{V \times f \times 0,014 \times 100}{p}$$

Sendo:

N = Azoto Kjeldhal

V = Volume, em mL de HCl gasto na titulação

f = título de HCl

p = Peso da amostra

0,014 = Valor (g) de N que reage com 1 mL de HCl de 1N

Calcinação

Para determinação dos restantes elementos químicos foi necessário recorrer a uma calcinação. Para tal, pesou-se 1 g de material para um copo de porcelana e colocou-se na mufla (Cassel, 1991) durante 12 horas; depois de ter arrefecido, adicionou-se à amostra 10 mL de HCl (1:1) e colocou-se numa placa de aquecimento até libertar fumo branco. Finalmente a amostra foi filtrada e aferida para um balão volumétrico de 25 mL.

Determinação do fósforo (P)

O fósforo determinou-se a partir das soluções obtidas por incineração via seca. Este método baseia-se na formação do complexo amarelo molibdovanadofosfórico, avaliando a concentração do elemento na amostra pela intensidade da cor obtida, medida no colorímetro a 375 nm (CADAS - 100).

Pipetaram-se 5 mL da solução obtida pela calcinação, para um balão volumétrico de 50 mL, tendo-se adicionado de seguida 12,5 mL do complexo amarelo molibdovanadofosfórico, agitando com cuidado. Deixou-se repousar durante 15 minutos e fez-se o volume até 50 mL.

Procedeu-se à leitura no colorímetro, a 375 nm.

Determinação do potássio (K)

A determinação deste elemento químico efectuou-se na solução obtida pela incineração via seca realizando-se a leitura no espectrofotómetro de absorção atómica (Shimadzer AA-680).

Para um balão volumétrico pipetou-se 1 mL da solução (incineração via seca) e aferiu-se para 50 mL.

Determinação do cálcio (Ca) e do magnésio (Mg)

A leitura do cálcio e do magnésio efectuou-se na solução obtida pela incineração via seca, realizando-se a leitura no espectrofotómetro de absorção atómica a 422,7 nm e 285,2 nm respectivamente.

Para cada balão volumétrico de 50 mL pipetaram-se 2 mL da solução e 1 mL de HCl.

Para reduzir a interferência de outros elementos (com o Ca interferem normalmente o Al, Be, P, Si, Ti e o Zn; com o Mg interfere normalmente o P, Al, Ti e o Si) que diminuem a absorção destes dois elementos químicos, adicionou-se a cada amostra 5 mL de cloreto de estrôncio (0,5 %) e aferiu-se o volume para 50 mL.

Determinação ferro (Fe)

A leitura do ferro efectuou-se na solução obtida pela incineração via seca, realizando-se a leitura no espectrofotómetro de absorção atómica (248,3 nm).

Para cada balão volumétrico de 50 mL pipetou-se 1 mL da solução, 2 mL de HCl e 5 mL de cloreto de estrôncio e aferiu-se o volume para 50 mL.

3.5. Métodos para determinação das propriedades físico-químicas

3.5.1. pH

Determinou-se o pH através de um método expedito para substratos, apresentado por Martinez (1992). Preparou-se um extracto aquoso 1:2 (v/v), a partir de 100 mL da amostra, medidos à pressão de 10 g cm^{-2} , e 200 mL de água destilada. Agitou-se com uma vareta de vidro durante 20 minutos e deixou-se repousar durante uma hora, procedendo-se, sem agitar, à leitura do pH num potenciómetro (Crison micro pH 2001, 1991).

3.5.2. Condutividade Eléctrica (CE)

A condutividade eléctrica (CE) mediu-se, num condutivímetro (Crison 522, 1991), através de uma solução obtida do mesmo modo ou na mesma que a utilizada para determinação do pH, após filtração com papel de filtro.

3.5.3. Teor de Humidade (H) e Matéria Seca (MS)

Os teores de humidade e de matéria seca foram determinados através do método proposto por Martinez (1992). Pesou-se uma quantidade de material correspondente a aproximadamente 40 a 50 g de matéria seca e secou-se na estufa a 105 °C, até se atingir peso constante.

Os resultados foram determinados através das seguintes fórmulas:

$$H(\%) = \frac{(B - C)}{(B - A)} \times 100$$

$$MS(\%) = 100 - H$$

Sendo:

A (g) = Peso do recipiente onde se colocou a amostra a secar

B (g) = Peso inicial da amostra

C (g) = Peso final da amostra

3.6. Temperatura

A temperatura nas duas pilhas de compostagem registou-se através de sondas. Em cada



pilha foram colocadas quatro sondas (PT 100), duas na parte central de pilha e as outras duas mais próximas da superfície (Figura 8), para que assim fosse possível uma determinação mais correcta da temperatura da biomassa.

Com o objectivo de conhecer a temperatura exacta do material colhido, a partir de 15 de Março (dia 108), começou-se a medir a temperatura no local exacto e na mesma altura em que se fizeram as colheitas das amostras.

Figura 8: Sondas de temperatura, sendo: 1- sondas laterais, 2 – sondas centrais

3.7. Métodos para avaliação microbiológica

Todo o material utilizado na quantificação de microrganismos foi esterilizado, e todos os procedimentos foram realizados em condições de assepsia.

A preparação dos diferentes meios de cultura usados no presente estudo foi efectuada de acordo com as normas do fabricante.

Pesaram-se 10 g de cada uma das amostras para um Erlenmeyer contendo 90 mL de soluto de Ringer estéril.

Cada amostra foi homogeneizada num agitador, a 125 rotações por minuto, durante 30 minutos.

Procedeu-se à preparação das diluições decimais seriadas que foram posteriormente inoculadas em meio de cultura adequado aos microrganismos a testar.

Todos os ensaios foram feitos em triplicado e expressos em unidades formadoras de colónias por grama de composto (ufc.g^{-1}). Foram seleccionadas as contagens que se encontravam dentro do intervalo óptimo (30 – 300 ufc / placa).

Foram pesquisados fungos, bactérias heterotróficas e actinomicetes.

3.7.1. Enumeração de Fungos

Na quantificação de fungos, o meio de crescimento utilizado foi o SCA (Sabouraud Chloramphenicol Agar) (Biokar Diagnostics, França), composto por peptona pepsídica de carne, glucose, cloramfenicol e agar bacteriológico.

O meio, após esterilização, foi distribuído em placas de Petri de 90 mm de diâmetro. Pipetaram-se 100 μL de cada diluição e procedeu-se à sua inoculação por espalhamento à superfície, recorrendo a uma ansa de Drigalsky.

A incubação fez-se em estufas reguladas a 25 e a 55 °C durante 24 horas.

3.7.2. Enumeração de bactérias heterotróficas

O meio utilizado para a quantificação de bactérias foi o PCA (Plate Count Agar) (Merck, Alemanha), adequado ao crescimento destes organismos.

Pipetaram-se 1000 µL das diferentes diluições para as placas de Petri e procedeu-se à incorporação da amostra no meio de cultura, adicionando o meio e agitando com cuidado a placa de Petri para que a amostra ficasse homogeneamente distribuída.

A incubação foi realizada em estufas reguladas a 25 e a 55 °C.

3.7.3. Enumeração de Actinomicetes

Para quantificar os actinomicetes, utilizaram-se 6 meios de cultura de forma a seleccionar o mais adequado.

½ PCA

Utilizou-se PCA com metade da concentração especificada pelo fabricante.

De forma a destruir as formas vegetativas existentes, mas permitindo a sobrevivência dos esporos dos actinomicetes, a amostra foi colocada em banho-maria a 80 °C durante 10 minutos.

Pipetaram-se 1000 µL das diferentes diluições para as placas de Petri e procedeu-se à inoculação por incorporação, adicionando-se o meio de cultura e agitando com cuidado a placa de Petri para que a amostra ficasse homogeneamente distribuída.

A incubação foi realizada em estufas reguladas a 25 e a 55 °C.

AIA

Na preparação do agar para isolamento de actinomicetes (AIA - Actinomycete Isolation Agar) (Difco, França), utilizou-se uma concentração de 22 g de AIA para 1000 mL de água destilada. Após fusão do agar, juntaram-se 5 mL de glicerol.

Pipetaram-se 1000 µL das diluições para as placas de Petri e procedeu-se à inoculação por incorporação, adicionando-se o meio de cultura e agitando com cuidado a placa de Petri para que a amostra fique homogeneamente distribuída.

A incubação foi realizada em estufas reguladas a 25 e a 55 °C.

AC, ACPP, ACCN e ACPPCN

Estes quatro meios de cultura diferiram pelos antibióticos presentes, com exceção do AC que não continha nenhum antibiótico, constituindo assim o meio base, com a seguinte composição:

Amido solúvel – 10,0 g

Caseína – 0,3 g

KNO₃ – 2,0 g

NaCl – 2,0 g

K₂ HPO₄ – 2,0 g

MgSO₄.7H₂O – 0,05 g

CaCO₃ – 0,01 g

FeSO₄.7H₂O – 0,01 g

Agar – 20g

Água destilada – 1000 mL

Após a dissolução dos vários componentes, acertou-se o pH para 7,2 antes da adição de agar e esterilizou-se durante 15 minutos a 120 °C.

Os restantes meios de cultura eram constituídos pelo meio base (AC) e por antibióticos:

ACPP - após a esterilização do meio AC, adicionou-se 1 mg de penicilina (Sigma, Alemanha) e 5 mg de polimixina (Sigma, Alemanha), previamente solubilizados em água.

ACCN - após a esterilização do meio AC, adicionou-se 50 mg de cicloheximida (Sigma, USA) e 50 mg de nistatina (Bristol, Reino Unido), previamente solubilizados em água.

ACPPCN - após a esterilização do meio AC, adicionaram-se os quatro antibióticos nas quantidades indicadas anteriormente.

Processamento das amostras

Colocou-se 1 g de amostra numa caixa de Petri e adicionou-se 1 g de CaCO₃, agitou-se a placa até que a mistura ficasse homogénea e deixou-se à temperatura ambiente durante uma semana.

Adicionou-se 0,1 g da mistura anterior em 100 mL de água desmineralizada e agitou-se, deixando repousar em seguida alguns minutos. Desta suspensão foram feitas as diluições necessárias.

A inoculação foi feita por espalhamento à superfície, pipetando 100 µL da suspensão e a incubação fez-se à temperatura de 25 °C em estufa, durante uma semana.

3.8. Métodos para determinação de propriedades biológicas

Das propriedades biológicas determinou-se o índice de germinação do composto final, usando-se o teste de Zucconi *et al.* (1985).

O objectivo deste teste é comprovar a possível presença de substâncias tóxicas, mediante a avaliação da germinação de sementes de *Lepidium sativum* L.

Para tal, colocaram-se 20 g de peso seco de amostra fresca num balão de 250 mL e adicionaram-se 100 mL de água destilada, agitando-se durante 2 horas num agitador rotativo e colocou-se na estufa a 40 °C durante 2 horas. Filtrou-se com duplo papel de filtro.

Prepararam-se 4 caixas de Petri por amostra com 1 papel de filtro, 5 mL do extracto aquoso e 20 sementes. As placas de Petri foram envolvidas em papel de alumínio e colocadas na estufa a 30 °C durante 48 horas.

Os resultados foram expressos com base na seguinte fórmula:

$$IG(\%) = média \frac{(Gai \times Lai)}{(Gbi \times Lbi)}$$

Sendo:

IG = Índice de Germinação

Gai = número médio de sementes germinadas por amostra

Lai (cm) = comprimento médio da radícula nas amostras

Gbi = número médio de sementes germinadas no branco

Lbi (cm) = comprimento médio da radícula no branco

3.9. Determinação do valor dos compostos como substratos hortícolas

Para avaliar os compostos como substratos hortícolas, foram realizados dois viveiros com 2 espécies de hortícolas, aos 151 e 375 dias de compostagem, com os compostos provenientes de cada pilha, usando como testemunha o substrato comercial para o modo de produção biológico (Exclusive, Brill) (SC).

A sementeira do viveiro com os compostos com 151 dias foi realizada a 19/05/2005 e para os materiais com 375 dias de compostagem a sementeira realizou-se a 05/01/2006.

Em ambos os viveiros recorreu-se à sementeira mecânica. Testaram-se espécies hortícolas para produção em estufa para consumo em fresco: melão (*Cucumis melo* L.) “Jalisco” (Hazera – Holanda) e o tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) “Sinatra” (Syngenta – Holanda).

As sementeiras foram realizadas em placas alveoladas de poliestireno expandido de 128 alvéolos, com fundas, e um volume de 27 mL por alvéolo. Para garantir que cada alvéolo ficasse com uma planta, foram semeadas 2 sementes em cada um.

A rega era automática com mini-aspersor. A fertilização, com macro e micronutrientes, foi realizada através da água de rega. Os adubos foram utilizados nas seguintes concentrações:

- Sulfato de potássio (0-0-10) (Gat, Espanha): 30 L de adubo / 100 L de água
- Nitrato de cálcio (7-0-0 + 8 Ca + 4 Mg) (Gat, Espanha): 5 L de adubo / 100 L de água
- TOV (1,7-10-10 + 0,5 Mg) (Gat, Espanha): 50 L de adubo / 100 L de água
- Bioroots (aminoácidos e substâncias enraizantes) (WSP, Becker Underwood, USA): 200 mL / 500 mL de água

No 1º viveiro procedeu-se ao desbaste e à repicagem oito dias após a sementeira e no 2º, estas operações foram realizadas treze dias após a sementeira.

Os viveiros realizaram-se nos viveiros Vida Verde (Sítio dos Caliços, Faro), numa estufa com paredes em rede de malha anti-tripés e cobertura no tecto em PE com 200 µm de espessura.

Quando as plantas mais desenvolvidas atingiram o tamanho comercial, mediu-se a altura, o diâmetro do colo, o número de folhas, determinou-se o peso fresco e seco da parte aérea e calculou-se o teor de matéria seca da parte aérea e a relação diâmetro/ altura. Depois, deixou-se que as plantas continuassem o crescimento, e quando as plantas menos desenvolvidas atingiam o tamanho comercial, avaliado pela altura, registou-se o número de dias entretanto decorridos. Cada ensaio foi delineado com 3 tratamentos, em 3 blocos completos casualizados. No final colheram-se amostras de 6 plantas por tratamento e bloco.

3.10. Capacidade Supressiva dos Compostos

3.10.1. Ensaio de supressividade em relação a *Rizoctonia solani*

Para determinar a capacidade supressiva dos compostos, semeou-se em substrato inoculado com *Rizoctonia solani*, e não inoculado. Utilizaram-se amostras dos compostos das pilhas ventilada e revirada, aos 151 dias, 375 dias e 2 anos (com esta idade apenas PR) de compostagem. Como controlo utilizou-se turfa (Klasmann Deilmann, Alemanha), inoculada e incubada a 25 °C (T25) e a 60 °C (T60) (apenas no composto com 151 dias) durante uma semana.

Os substratos foram inoculados com 2 g de inóculo, em 2 L de composto. A planta indicador foi de pepino (*Cucumis sativus* L. “Negrito”) e decorreu em condições ambientais controladas (25 °C). No ensaio aos 151 dias de compostagem foi difícil controlar a temperatura, tendo por isso, os restantes ensaios decorrido na Universidade de Barcelona.

O ensaio foi delineado com 4 tratamentos aos 151 dias, 3 tratamentos aos 375 dias e dois aos 2 anos, em 3 blocos completos casualizados, cada um constituído por 5 vasos, com 15 plantas cada.

Após 1 semana de cultivo foram registados os danos causados pelo fungo, sendo usada a seguinte escala para avaliação do nível de doença:

1 – Planta sã

2 – Planta com lesão pequena

3 – Planta com lesão grande

4 – Damping-off pós-emergência

5 - Damping-off pré-emergência

Calculou-se a severidade da doença (DS) e a incidência da doença (DI) com base nas seguintes fórmulas:

$$DS = \frac{pg1 \times 1 + pg2 \times 2 + pg3 \times 3 + pg4 \times 4 + pg5 \times 5}{T}$$

Sendo:

pg1 = Número de plantas de grau 1

pg2 = Número de plantas de grau 2

pg3 = Número de plantas de grau 3

pg4 = Número de plantas de grau 4

pg5 = Número de plantas de grau 5

T = Número total de plantas

$$DI = \frac{pd}{T}$$

Sendo:

pd = Número de plantas doentes

T = Número total de plantas

3.10.2. Ensaio de supressividade em relação a *Fusarium* sp. e *Scelerotinia homeocarpa*

Em laboratório foram realizados ensaios de avaliação da capacidade supressiva para *Fusarium* sp. e *Scelerotinia homeocarpa*, usando *Trichoderma* sp. isolado do composto da pilha revirada com 2 anos, de solo arenoso (campo de golfe de Silves) e de um produto comercial, bioprotector e activador do sistema radicular, contendo o fungo (Rhizoderm, LIDA Química, Espanha).

O ensaio foi realizado em placas de Petri, com meio PDA (Potato dextrose Agar) (Merck, Alemanha), onde se colocou um inóculo diferente de *Trichoderma* sp. e inocularam-se com *Fusarium* sp. e *Scelerotinia homeocarpa*.

3.11. Análise Estatística de Dados

Para avaliar as diferenças estatísticas entre as duas pilhas de compostagem, recorreu-se ao teste t-Student ($p \leq 0,05$), com o programa estatístico SPSS. Foram feitas 3 repetições para cada uma das variáveis estudadas.

Na avaliação dos compostos como substratos hortícolas e na capacidade supressiva dos mesmos, os resultados foram sujeitos a uma análise da variância e ao teste de Duncan de separação de médias ($p \leq 0,05$), com o programa estatístico SPSS. O mesmo teste foi usado para comparar a evolução dos compostos entre os dias 1, 151 e 375 de compostagem, a temperatura, o desempenho dos meios para actinomicetes e o índice de germinação.

4. Resultados e Discussão

4.1. O processo de compostagem e os compostos obtidos

4.1.1. Temperatura

Durante os dois processos de compostagem, verificou-se que o material passou por uma fase inicial ou mesofílica, uma intermédia ou termofílica e uma fase final, de estabilização ou de maturação (Figura 9).

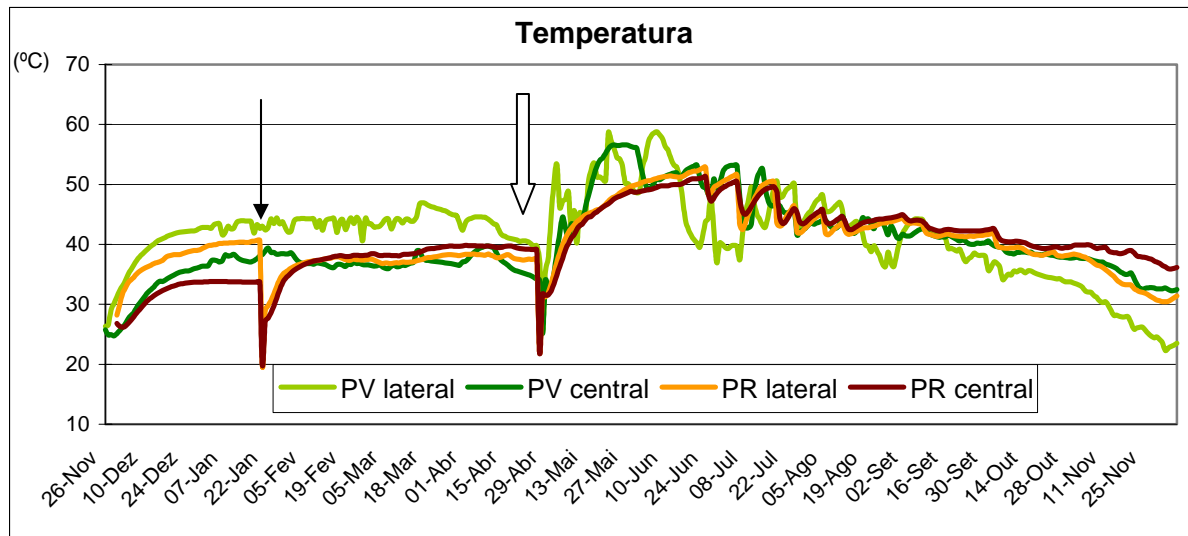


Figura 9: Evolução da temperatura, na parte lateral e central das duas pilhas de compostagem ao longo do processo, sendo: ↓ reviramento da pilha revirada, ↓↓ reviramento com fraccionamento das duas pilhas

Não se verificaram diferenças de temperatura entre as duas pilhas (Anexo 5.2). No entanto, comparando a temperatura da parte lateral e central de ambas as pilhas, verificaram-se diferenças na parte lateral, sendo a temperatura superior na pilha ventilada (Anexo 5.3).

As temperaturas medidas na mesma altura em que se fizeram as colheitas, não mostraram diferenças em relação às registadas pelas sondas (Anexo 5.4).

Como se poderia esperar, verificou-se um aumento inicial acentuado da temperatura, tendo voltado a diminuir em cada um dos reviramentos realizados, devido à temperatura exterior ser inferior, mas rapidamente se voltou a atingir os valores anteriores devido à actividade microbiológica. A partir do 2º reviramento, as temperaturas atingidas foram mais elevadas em ambas as pilhas, ultrapassando os 55 °C, permitindo assim a higienização dos materiais e eliminação de microrganismos e sementes. Gradualmente a temperatura desceu na fase final do ensaio, chegando a valores próximos da temperatura ambiente (Figura 9).

O facto de nas duas pilhas, a temperatura não ter atingido tão rapidamente valores mais elevados, deve-se às características do material utilizado, pois este processo de compostagem teve início com pH ácido, reduzindo-se a actividade microbiológica. A partir do 2º reviramento, verificou-se uma diminuição do tamanho das partículas, aumento do pH e logo a temperatura também aumentou.

As sondas de temperatura do ventilador instalado na pilha ventilada, registaram temperaturas superiores às registadas pelas restantes sondas distribuídas pela pilha (Figura 10).

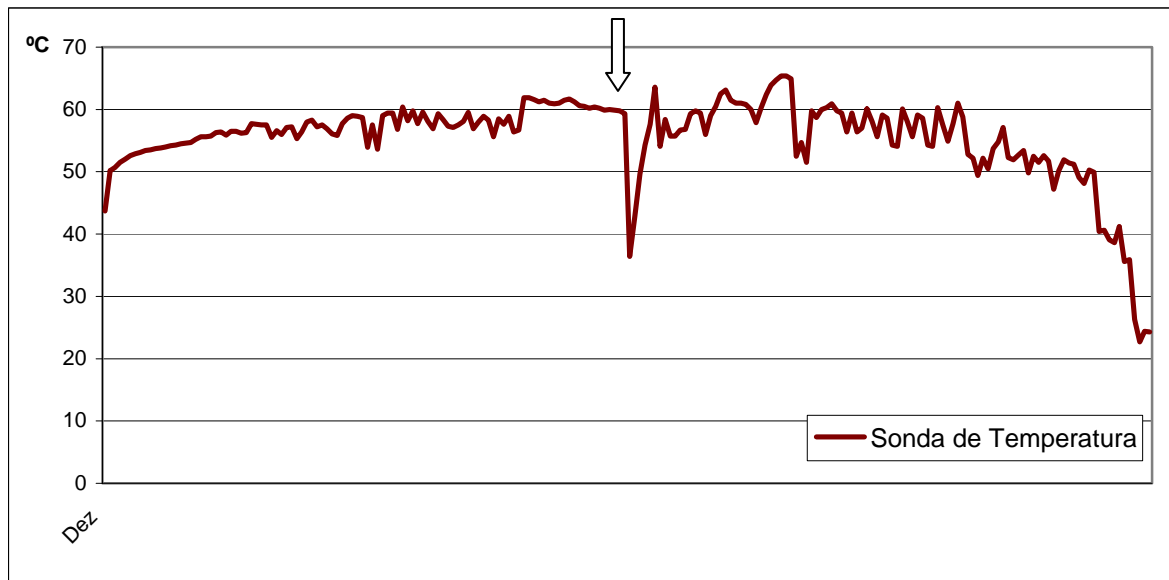


Figura 10: Evolução da temperatura registada pelas sondas do ventilador da pilha ventilada, sendo: ↓ reviramento da pilha revirada, ⇓ reviramento com fraccionamento das duas pilhas

Este facto pode dever-se a que esta sonda estivesse a uma profundidade superior e logo registasse valores superiores.

A temperatura poucas vezes ultrapassou os 60 °C, que pode ser devido à insuficiente libertação de calor, ou ao ventilador funcionar sempre que a temperatura atingia os 60 °C, com o objectivo de baixar a temperatura na pilha ventilada (Figura 10).

4.1.2. Características Físicas

4.1.2.1. Volume de material

O volume das pilhas diminuiu ao longo da compostagem de forma semelhante nos dois processos (Figura 11).

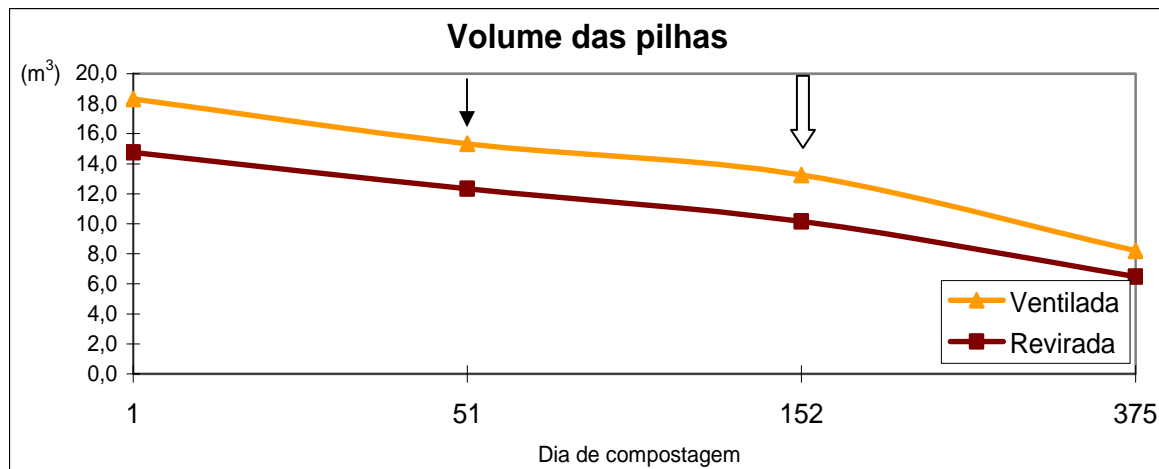


Figura 11: Evolução do volume das duas pilhas de compostagem ao longo do processo, sendo: ↓ reviramento da pilha revirada, ↓↓ reviramento com fraccionamento das duas pilhas

Este facto era de esperar e deve-se à redução do material e diminuição do tamanho das partículas, tendo diminuído os macroporos levando ao aumento da densidade aparente.

Correlacionando o volume das pilhas de compostagem (Anexo 4) com as variáveis físicas, verifica-se que, em ambas as pilhas o volume está correlacionado negativamente com a Dr. Assim, a diminuição do volume aumenta a Dr. No caso do composto da pilha

ventilada, verifica-se ainda uma correlação positiva entre o volume e o EPT, ou seja a diminuição do tamanho das partículas implica também a diminuição do volume.

No final do ensaio, o volume das pilhas reduziu-se em mais de metade, verificando-se uma redução de 55,2 % e 56,1 % do volume das pilhas ventilada e revirada respectivamente.

4.1.2.2. Granulometria

Ao longo da compostagem verificou-se a diminuição do tamanho médio das partículas (Figura 12).

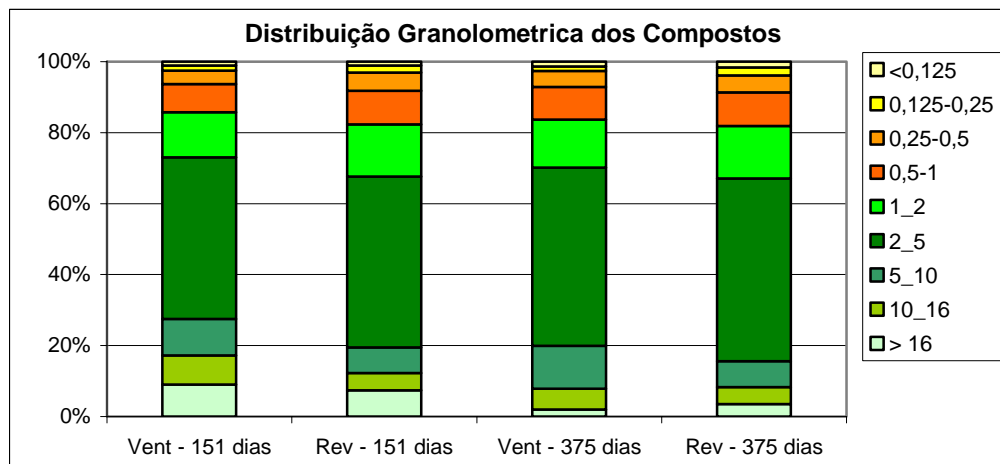


Figura 12: Distribuição granulométrica dos compostos resultantes das duas pilhas de compostagem aos 152 e 375 dias de compostagem

Em cada uma das pilhas, verificou-se que entre os dias 151 e 375 ocorreu diminuição das partículas com dimensão superior a 1mm, ao passo que as de dimensão inferior a 1 mm aumentaram (Quadro 3), o que mostra a diminuição do tamanho destas ao longo do processo de compostagem.

Quadro 3: Distribuição granulométrica dos compostos testados

	Pilha Ventilada		Pilha Revirada	
	Dia 151	Dia 375	Dia 151	Dia 375
> 1 mm	85,7	83,7	82,3	81,9
< 1 mm	13,3	16,3	17,7	18,1

Este facto é devido ao próprio processo da compostagem, causando a degradação da matéria orgânica e o fraccionamento das partículas durante os reviramentos, provocando a diminuição do tamanho das mesmas.

Comparando a evolução das pilhas, verificou-se que no composto da pilha ventilada as partículas tinham dimensões superiores (Anexo 1). O facto da pilha revirada apresentar partículas de tamanho inferior, poderá dever-se ao 1º reviramento efectuado apenas nesta pilha e que terá provocado algum fraccionamento das partículas.

4.1.2.3. Relações ar-água

Nas restantes características físicas estudadas, as duas pilhas de compostagem apresentaram uma evolução semelhante. No entanto, aos 151 dias o composto da pilha ventilada apresentou densidade real (dr) e densidade aparente húmida (D_{ap_h}) significativamente superior ao da pilha revirada (Quadro 4).

Quadro 4: Características físicas dos compostos testados

	dr	d_{ap_h}	d_{ap_s}	EPT	CA	AFU	AR	ADU	CTR
Dia PV	1,54***	0,536***	0,217	95,9	29,5*	27,4	2,00	27,0*	29,6
151 PR	1,50***	0,504***	0,226	84,9	18,8*	29,4	2,26	34,5*	26,3
Dia PV	1,58	0,655	0,274	82,7	12,4	31,0	4,08	35,3	34,3
375 PR	1,58	0,650	0,255	83,9	15,3	32,1	3,81	32,7	34,0

Para cada dia de compostagem, em cada coluna, os valores das médias apresentam diferenças significativas para: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; sem indicação, não significativo. PV, composto da pilha ventilada; PR, composto da pilha revirada; dr, densidade real; D_{ap_h} , densidade aparente húmida; d_{ap_s} , densidade aparente seca; EPT, espaço poroso total; CA, capacidade de arejamento; AFU, água facilmente utilizável; AR, água de reserva; ADU, água dificilmente utilizável; CTR, contracção do composto.

Relativamente às relações ar-água, a CA foi superior no composto da pilha ventilada, devido à granulometria também ser superior, e a ADU significativamente superior no composto da pilha revirada, mais uma vez devido à maior degradação das partículas desta pilha. Aos 375 dias de compostagem não se verificaram diferenças entre as duas pilhas estudadas (Quadro 4).

Entre os 151 e 375 dias de compostagem, verificou-se que o aumento das partículas mais finas, levou ao aumento da densidade real, com diferenças em ambas as pilhas (Anexo 2), causando também a diminuição do EPT, com diferenças no composto da pilha ventilada, menor aos 375 dias (Anexo 2), para valores inferiores a 85 % (valor óptimo), levando também a um aumento da contracção do material.

Apesar de não se registarem diferenças estatísticas (Anexo 2), verificou-se uma melhoria da AFU e da AR, bem como da ADU. A CA, por sua vez diminuiu, o que é explicado também pelo aumento das partículas finas presentes nos compostos (Figura 13).

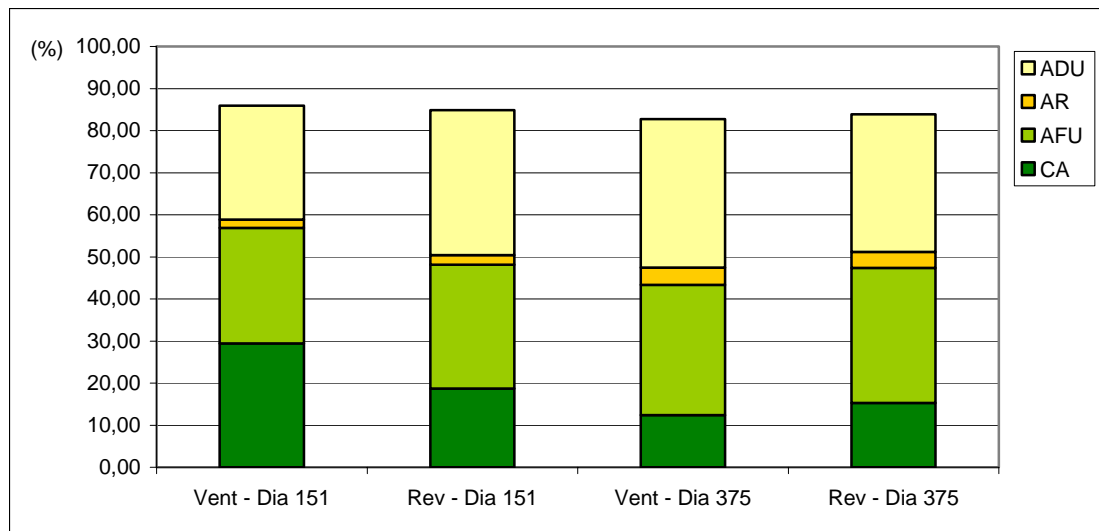


Figura 13: Curva de retenção de água dos compostos estudados

Assim conclui-se que, durante este processo de compostagem, os poros capilares (responsáveis pela retenção de água) aumentaram, em contraste com a percentagem dos macroporos (permitem o arejamento), que pelo contrário diminuíram.

Analisando a matriz de correlação entre as variáveis físicas (Anexo 3), confirma-se que algumas destas variáveis estão correlacionadas significativamente entre si. No caso do composto da pilha ventilada, verifica-se que a CA está significativamente correlacionada com a ADU de modo negativo. Isto é, a diminuição dos macroporos e o aumento dos poros capilares favoreceu a retenção de água, principalmente a ADU. O composto da pilha ventilada mostrou uma correlação negativa do EPT com a Dr. Verificou-se uma correlação positiva da contracção do material, com a AR e a Dap_h . Mais uma vez a diminuição das partículas favoreceu outras variáveis físicas.

Relativamente à pilha revirada, verificou-se que o EPT se correlacionou negativamente com a AFU. Ou seja, a diminuição dos macroporos e aumento dos poros capilares foram favoráveis ao aumento da retenção de água, neste caso da AFU. A CA também mostrou correlação negativa com a capacidade de retenção de água (AFU, AR, ADU) e com a Dap_s . A dap_h e dap_s correlacionaram-se positivamente com a AR (Anexo 3). Mais uma vez se verificou que a alteração do tamanho das partículas do composto, de 151 para 375 dias, foi favorável para a retenção de água pelo composto (Anexo 3).

4.1.3. Características Químicas

4.1.3.1. Matéria Orgânica e Matéria Mineral

O teor de matéria orgânica, ao longo da compostagem, diminuiu gradualmente nas duas pilhas estudadas (Figura 14), mas sem diferenças entre si (Anexo 5.1).

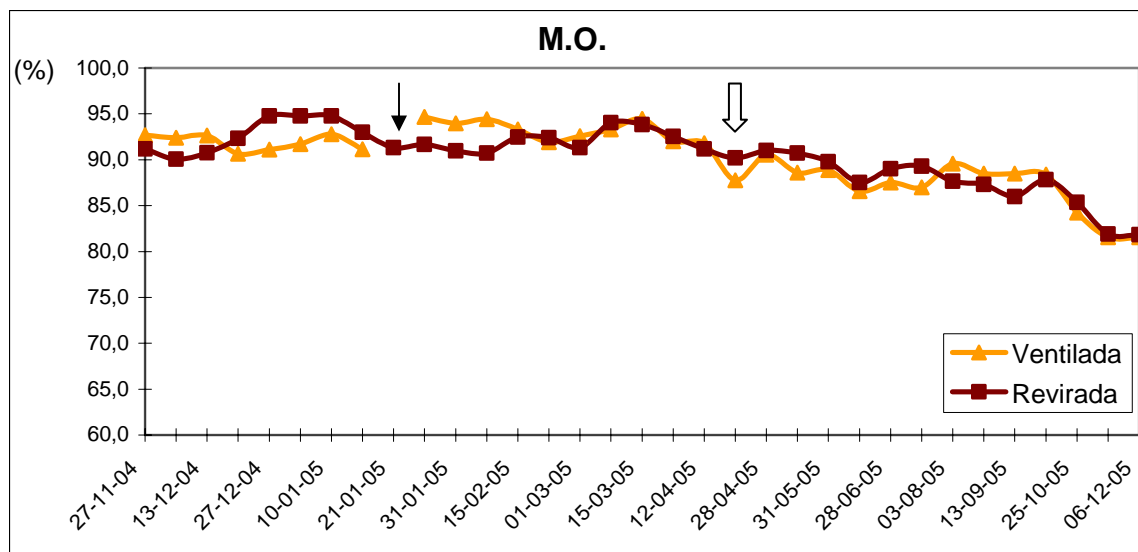


Figura 14: Evolução da matéria orgânica nas duas pilhas de compostagem ao longo do processo, sendo: ↓ reviramento da pilha revirada, ↓ reviramento com fracionamento das duas pilhas

Em ambos os compostos, entre os dias 1, 151 e 375 verificaram-se diminuições estatísticas do teor de matéria orgânica, o que representa uma normal evolução do processo (Quadro 5); como consequência, situação inversa se passou com a matéria mineral.

Quadro 5: Características químicas dos materiais aos 1, 151 e 375 dias de compostagem em PV e PR

	Dia	Azoto Kjeldhal (%)	Relação C/N	M.O. (%)	M.M. (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (%)
PV	1	1,15c	46,7a	92,7a	7,3c	0,015c	0,023c	0,036c	0,183a	0,155c
	151	1,37b	37,3b	87,8b	12,2b	0,056b	0,094a	1,374b	0,167a	0,411a
	375	2,19a	21,6c	81,6c	18,4a	0,129a	0,078b	1,432a	0,126a	0,363b
PR	1	1,21c	43,7a	91,2a	8,8c	0,015c	0,079a	0,036c	0,129a	0,109b
	151	1,52b	32,2b	90,2b	9,8b	0,057b	0,078a	1,420b	0,120a	0,262a
	375	2,00a	23,8c	81,8c	18,2a	0,099a	0,048b	1,425a	0,090b	0,101b

Para cada um dos compostos, em cada coluna, os valores seguidos de letras diferentes apresentam diferenças estatísticas para $p \leq 0,05$, pelo Teste de Duncan.

PV, composto da pilha ventilada; PR, composto da pilha revirada; M.O., matéria orgânica; M.M., matéria mineral; P, fósforo; K, potássio; Ca, cálcio; Mg, magnésio; Fe, ferro.

Esta redução é normal uma vez que o carbono presente na matéria orgânica é consumido pelos microrganismos durante o processo (Day & Shaw, 2005; Sullivan & Miller, 2005) e perdido sobre a forma de CO₂ para a atmosfera (Brito, 2005 & Sullivan & Miller, 2005). No final, os compostos, apresentaram valores de matéria orgânica muito próximos, 81,6% para o composto da pilha ventilada e 81,8 % para o da pilha revirada (Figura 14), como consequência os teores de matéria mineral foram de 18,4 % para o PV e 18,2 % no caso do PR.

Os compostos finais apresentaram teores de matéria orgânica elevados, superiores a 82 % (Figura 14), portanto com níveis ótimos para uso agrícola.

Azoto Kjeldhal

O azoto Kjeldhal aumentou de forma similar nas duas pilhas de compostagem (Figura 15), não se verificando diferenças entre os compostos (Anexo 5.1). Ambos, após 1, 151 e 375 dias de compostagem, mostraram aumentos significativos do teor de azoto Kjeldhal (Quadro 5) tendo chegado, no final, a valores de 2,00 % no composto da pilha ventilada e 2,19 % no composto da pilha revirada, (Figura 15) os quais são considerados ótimos (Ferreira *et al.*, 2002).

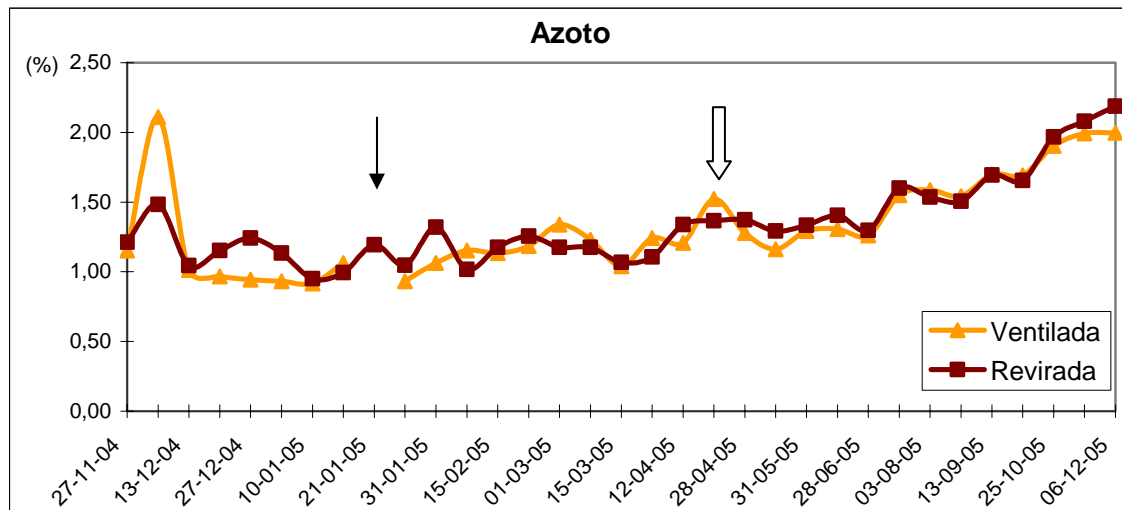


Figura 15: Evolução do azoto Kjeldhal nas duas pilhas de compostagem ao longo do processo, sendo: ↓ reviramento da pilha revirada, ↓↓ reviramento com fraccionamento das duas pilhas

O aumento do teor de azoto Kjeldhal é explicado por um processo de concentração causado pela redução de massa do material e além disso, segundo Körner & Stegmann (1998), as características ácidas da laranja e a elevada relação C/N verificada na mistura de laranja e bagaço de azeitona terão também contribuído para a conservação do teor de azoto Kjeldhal (Raviv *et al.*, 2005).

Durante este processo não deverá ter ocorrido lixiviação do azoto, pois as duas pilhas foram construídas em locais abrigados e o humedecimento era feito com cuidado.

Elementos Químicos

Durante a compostagem, em ambas as pilhas, verificou-se o aumento em percentagem dos macronutrientes fósforo e cálcio, o que não se verificou para restantes nutrientes (Quadro 5).

No entanto, de acordo com Brito (2005), a diminuição do volume resultaria num aumento da concentração de nutrientes, que neste caso só se verificou para o fósforo e o cálcio.

O ferro apresentou valores superiores aos 151 dias de compostagem em ambas as pilhas, o potássio mostrou evolução semelhante, excepto na pilha revirada, em que não se verificaram diferenças entre o dia 1 e o 151, diminuindo aos 375 dias de compostagem (Quadro 5).

No início da compostagem, o composto da pilha ventilada apresentou teor de ferro superior sendo o potássio superior no da pilha revirada, os restantes nutrientes não mostraram diferenças (Quadro 6).

Quadro 6: Percentagem do teor dos nutrientes determinados

	Pilha	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (%)
Dia 1	PV	0,015	0,023***	0,036	0,183	0,155***
	PR	0,015	0,079***	0,036	0,129	0,109***
Dia 151	PV	0,056	0,094**	1,374***	0,167	0,411**
	PR	0,057	0,078**	1,420***	0,120	0,262**
Dia 375	PV	0,129**	0,078***	1,432***	0,126***	0,363**
	PR	0,099**	0,048***	1,425***	0,090***	0,101**

Para cada dia de compostagem, em cada coluna, os valores das médias apresentam diferenças significativas para: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; sem indicação, não significativo. PV, composto da pilha ventilada; PR, composto da pilha revirada; P, fósforo; K, potássio; Ca, cálcio; Mg, magnésio; Fe, ferro.

Aos 151 dias de compostagem, o composto da pilha ventilada apresentou teores superiores de ferro e potássio, o da pilha revirada mostrou teores de cálcio superiores (Quadro 6).

Passados 375 dias sobre o início da compostagem, verificaram-se diferenças significativas em todos os teores de nutrientes determinados, sendo no composto da pilha ventilada que se verificaram as concentrações superiores (Quadro 6).

Os metais pesados não foram determinados, pois dado o tipo de material inicial, devem existir apenas quantidades vestigiais destes elementos.

De acordo com o Quadro 1 e o Quadro 2, tanto aos 151 como aos 375 dias de compostagem, a concentração dos nutrientes determinados, foi inferior ao aconselhável para que os compostos possam ser aplicados ao solo, mas superior ao recomendado para que possam ser utilizados como substratos.

4.1.3.2. Relação C/N

Com a diminuição do teor de M.O. e o aumento do azoto orgânico, a relação C/N diminuiu durante o processo (Figura 16), tal como esperado, mas sem diferenças entre os dois compostos estudados (Anexo 5.1).

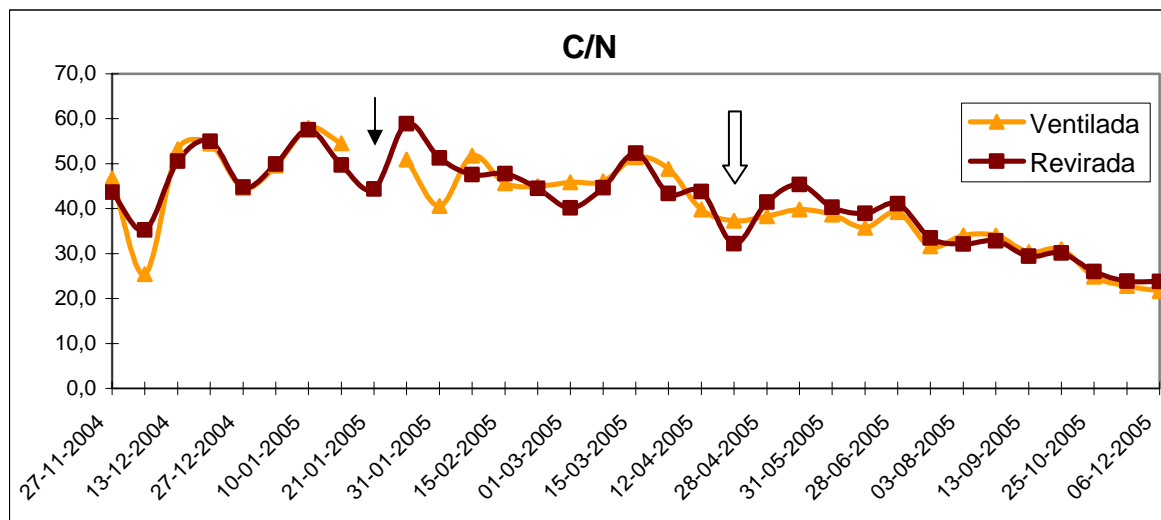


Figura 16: Evolução da relação carbono/azoto nas duas pilhas de compostagem ao longo do processo, sendo: ↓ reviramento da pilha revirada, ⇓ reviramento com fraccionamento das duas pilhas

Em cada pilha de compostagem estudada, entre os dias 1, 151, 375, a relação C/N diminuiu ao longo do tempo (Quadro 5).

No final da compostagem, a relação C/N apresentou valores de 22 (PV) e 24 (PR) (Figura 16) os quais, segundo Abad *et al.* (2004), estão dentro limites óptimos.

4.1.4. Propriedades Físico-Químicas

4.1.4.1. pH

A compostagem teve início com pH ácido nas duas pilhas de compostagem devido à natureza do material (4,2 em PV e 4,0 em PR). A evolução foi semelhante em ambos os materiais (Figura 17), não se verificando diferenças significativas (Anexo 5.1).

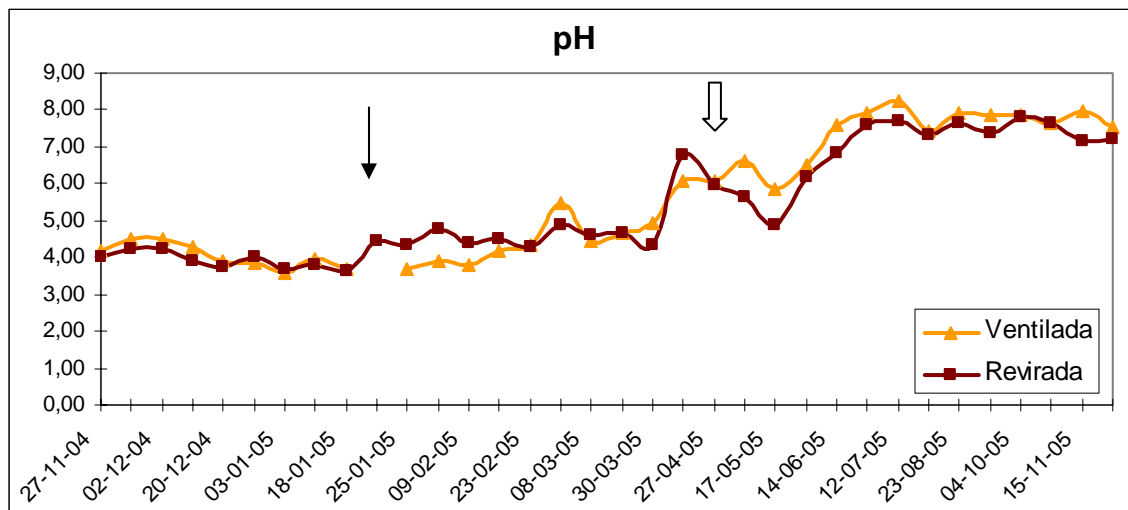


Figura 17: Evolução do pH nas duas pilhas de compostagem ao longo do processo, sendo: ↓ reviramento da pilha revirada, ↓↓ reviramento com fraccionamento das duas pilhas

Durante este processo verificou-se um ligeiro aumento no início, do 1º para o 3º dia, voltando a diminuir ao 6º dia como consequência provável da libertação de ácidos orgânicos. Trinta dias após o início da compostagem o pH voltou a subir, observando-se maior aumento depois do 2º reviramento, o que explica a importância deste e da trituração das partículas, tornando-as mais pequenas e de mais fácil decomposição. Após

cada reviramento o pH diminui e voltou a subir ligeiramente como resultado do reviramento. O pH atingiu valores básicos em ambas as pilhas, voltando a diminuir. Nestes dois casos, no final do ensaio, o pH apresentou-se ligeiramente alcalino, com valores de 7,5 na pilha ventilada e 7,2 na pilha revirada (Figura 17).

Para cada um dos compostos, verificaram-se aumentos estatísticos entre os dias 1, 151 e 375 (Quadro 7).

Quadro 7: Características físico-químicas dos compostos no 1º, 151º e 375º dia de compostagem em PV e PR

	Dias	M.S. (%)	Humidade (%)	pH	CE
PV	1	21,9b	78,1a	4,19c	1,50a
	151	56,3a	43,7b	6,07b	1,53a
	375	51,2a	48,8b	7,53a	0,41b
PR	1	18,9c	81,1a	4,02c	1,41a
	151	56,6a	43,4c	5,94b	1,56a
	375	46,7b	53,3b	7,22a	0,30b

Para cada um dos compostos, em cada coluna, os valores seguidos de letras diferentes apresentam diferenças estatísticas para $p \leq 0,05$, pelo Teste de Duncan.

PV, composto da pilha ventilada; PR, composto da pilha revirada; M.S., matéria seca; CE, condutividade eléctrica.

No composto final, os valores do pH, estiveram dentro dos limites óptimos para poderem ser utilizados na agricultura (Quadro 1).

4.1.4.2. Condutividade eléctrica (CE)

Conforme é habitual (Brito, 2005), verificou-se a diminuição da condutividade eléctrica durante o processo (Anexo 5.1), de forma similar nas duas pilhas de compostagem estudadas (Figura 18).

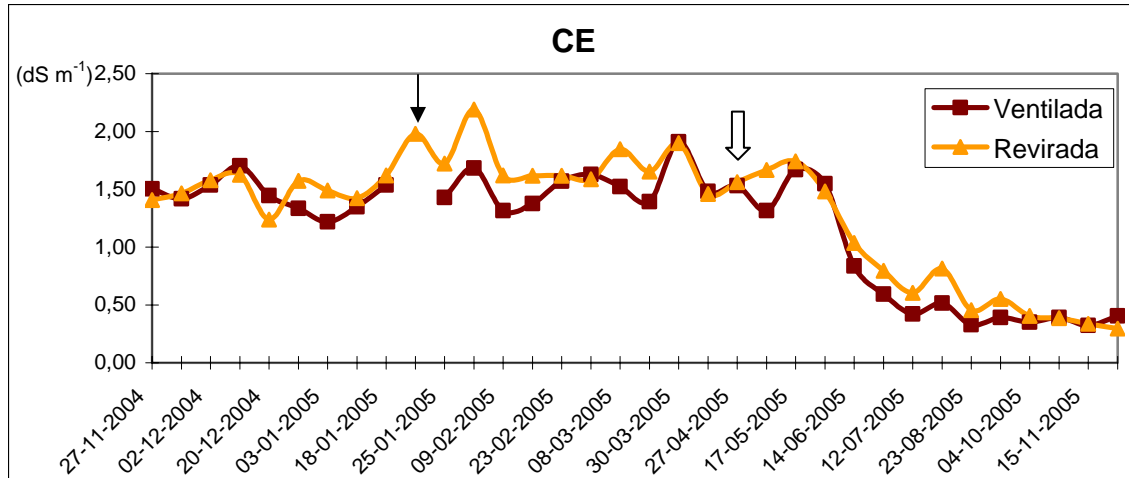


Figura 18: Evolução da condutividade eléctrica (CE) nas duas pilhas de compostagem ao longo do processo, sendo: ↓ reviramento da pilha revirada, ↓↓ reviramento com fraccionamento das duas pilhas

Esta diminuição da CE, foi superior dos 151 para os 375 dias de compostagem, em ambas as pilhas estudadas (Quadro 7).

Os materiais iniciaram a compostagem com valores de CE próximos de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ e terminaram com valores de $0,41 \text{ dS m}^{-1}$ para a pilha ventilada e $0,30 \text{ dS m}^{-1}$ para a pilha revirada (Figura 18), valores considerados baixos para a maioria das plantas (Abad *et al.*, 2004) e por isso de óptima qualidade para aplicação ao solo ou uso como componente de substratos.

4.1.4.3. Matéria Seca

Ao longo deste processo não se verificaram diferenças entre as duas pilhas de compostagem (Anexo 5.1).

Inicialmente os materiais a compostar apresentaram um teor de humidade bastante elevado, que decresceu posteriormente (Quadro 7). Uma vez que metade do volume das pilhas era constituído por laranjas, estas contribuíram para a elevada humidade no início, que diminuiu durante o processo em ambos os compostos. No Verão, o teor de matéria seca aumentou chegando a ultrapassar 60 %, sendo necessário recorrer à rega das pilhas para manter a humidade dentro dos limites óptimos, garantindo a actividade microbiológica e a continuação do processo (Figura 19).

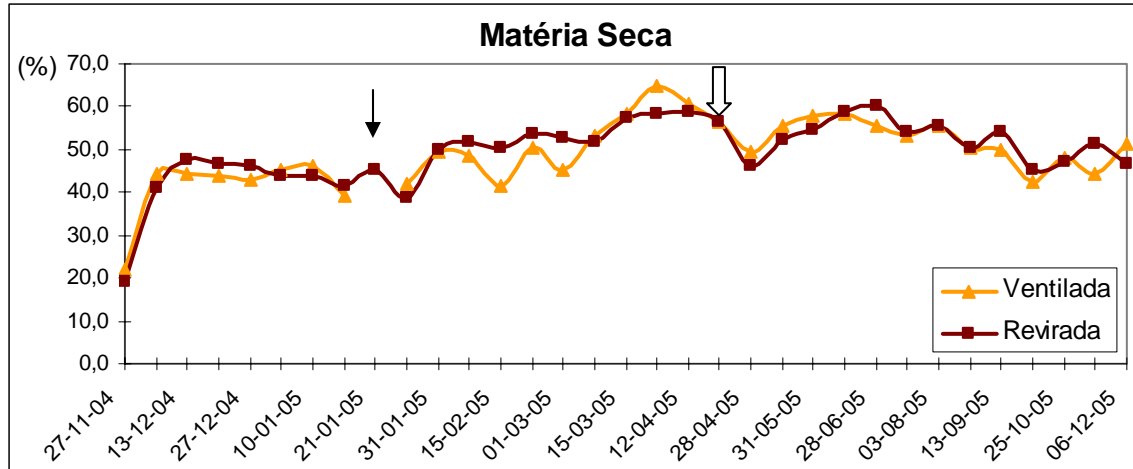


Figura 19: Evolução da matéria seca nas duas pilhas de compostagem ao longo do processo, sendo: ↓ reviramento da pilha revirada, ↓↓ reviramento com fraccionamento das duas pilhas

4.1.5. Monitorização Microbiológica

Em ambos os processos de compostagem verificou-se que existiu uma comunidade microbiana capaz de crescer no material utilizado.

4.1.5.1. Enumeração de Fungos

A variação da população de fungos (Figura 20) ao longo do processo foi semelhante, para as duas temperaturas a que foram feitas incubações, não se verificando diferenças entre as duas pilhas de compostagem (Anexo 5.5).



No entanto, 24 horas após o início da compostagem, quando incubados a 25 °C, os fungos da pilha revirada apresentaram uma população superior. O mesmo não se verificou decorridos 151 e 375 dias, pois os fungos incubados a 25 °C e 55 °C apresentaram populações superiores na pilha ventilada (Quadro 8).

Figura 20: Aspecto de uma placa de Petri colonizada por fungos

Quadro 8: População de microrganismos aos 1, 151 e 375 dias de compostagem

		Fungos 25° C	Fungos 55° C	Bactérias 25° C	Bactérias 55° C	Actinomicetes 25° C	Actinomicetes 55° C
Dia 1	PV	$4,3 \times 10^4$ ***	0	$1,1 \times 10^5$ ***	$7,9 \times 10^5$ ***	$2,0 \times 10^3$	533,3
	PR	$1,17 \times 10^6$ ***	0	$1,8 \times 10^7$ ***	$1,7 \times 10^9$ ***	$2,4 \times 10^3$	700,0
Dia 151	PV	$2,1 \times 10^5$ *	$8,1 \times 10^4$ **	$5,5 \times 10^8$ ***	$2,0 \times 10^9$ **	$1,1 \times 10^5$ **	$3,1 \times 10^8$
	PR	$2,4 \times 10^3$ *	$1,5 \times 10^4$ **	$1,6 \times 10^7$ ***	$3,7 \times 10^8$ **	$3,5 \times 10^5$ **	$3,0 \times 10^8$
Dia 375	PV	$4,4 \times 10^3$ *	$1,7 \times 10^4$ *	$3,3 \times 10^8$ **	$2,8 \times 10^9$ ***	$2,2 \times 10^8$ **	$3,1 \times 10^8$ **
	PR	$2,3 \times 10^3$ *	$1,0 \times 10^4$ *	$3,5 \times 10^7$ **	$3,5 \times 10^7$ ***	$4,8 \times 10^8$ **	$3,8 \times 10^7$ **

Para cada dia de compostagem, em cada coluna, os valores das médias apresentam diferenças significativas para: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; sem indicação, não significativo.

PV, composto da pilha ventilada; PR, composto da pilha revirada; 25° C e 55 °C, temperaturas de incubação.

Esta diferença pode ser devida ao maior arejamento da pilha ventilada, pois as condições das variáveis observadas nas duas pilhas de compostagem eram semelhantes nestes dias. No dia 1, a temperatura da pilha revirada foi superior, podendo ter favorecido o desenvolvimento destes organismos nesta pilha.

Na pilha ventilada, as amostras incubadas a 25 °C atingiram, dois dias após o início do processo, a população mais elevada, de $3,92 \times 10^8$ u.f.c. g^{-1} . As amostras incubadas a 55 °C atingiram a concentração máxima também no princípio, dezasseis dias após o início da compostagem, sendo quantificadas $5,63 \times 10^6$ u.f.c. g^{-1} , altura em que o número de colónias que cresciam a 25 °C já se encontravam a diminuir, devido ao aumento da temperatura (Figura 21).

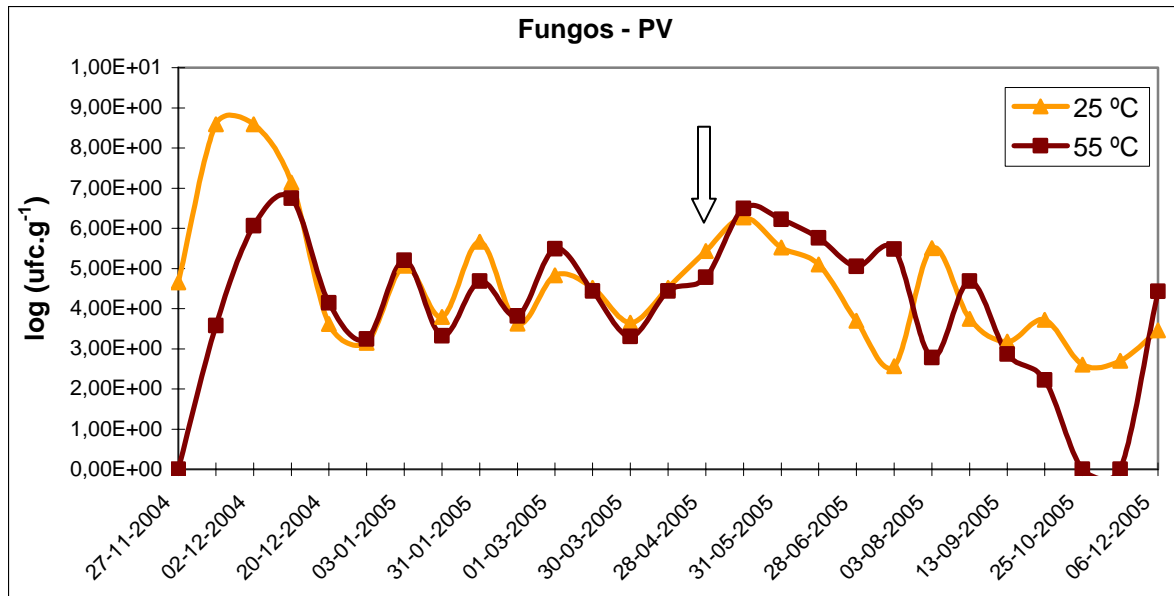


Figura 21: Variação da população de fungos, incubados a 25 e a 55 °C na pilha ventilada ao longo do processo, sendo: ↓ reviramento com fraccionamento da biomassa

Relativamente às populações avaliadas, a pilha revirada teve um comportamento semelhante à pilha ventilada, tendo-se verificado um aumento inicial da população de fungos, seguido de diminuição passado pouco tempo, observando-se oscilações ao longo do processo. As amostras incubadas a 25 °C atingiram a concentração máxima de $5,36 \times 10^{10}$ u.f.c. g⁻¹ três dias após o início da compostagem, ao passo que as amostras incubadas a 55 °C atingiram $4,87 \times 10^6$ u.f.c. g⁻¹, treze dias após o início da compostagem (Figura 22).

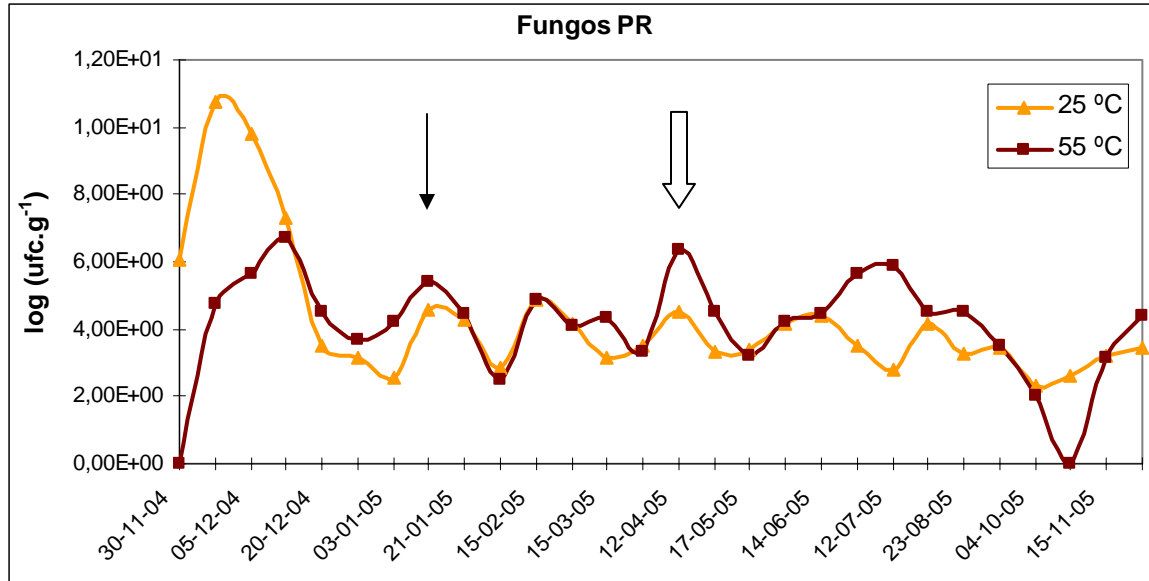


Figura 22: Variação da população de fungos, incubados a 25 e a 55 °C na pilha revirada ao longo do processo, sendo: ↓ reviramento, ⇓ reviramento com fracionamento

Segundo Golueke (1972), os fungos prevalecem durante a fase inicial do processo, 7 a 10 dias após o início da compostagem. No presente estudo, as maiores concentrações de fungos observadas não coincidiram com este período, no entanto ocorreram durante a fase inicial do processo, acompanhando o aumento da temperatura. O decréscimo do pH, que se verificou durante este período, poderá ter favorecido o aumento da população de fungos (Brito, 2005).

Na pilha revirada verificou-se ainda que, ao longo da maior parte do processo, a população de fungos que cresceram a 55 °C, apresentou valores superiores aos que cresceram a 25 °C (Figura 22).

Inicialmente, a temperatura do material orgânico próxima de 25 °C, poderá ter favorecido o desenvolvimento dos fungos mesófilos, tendo sido quantificados mais organismos a esta temperatura, uma vez que lhes era mais favorável.

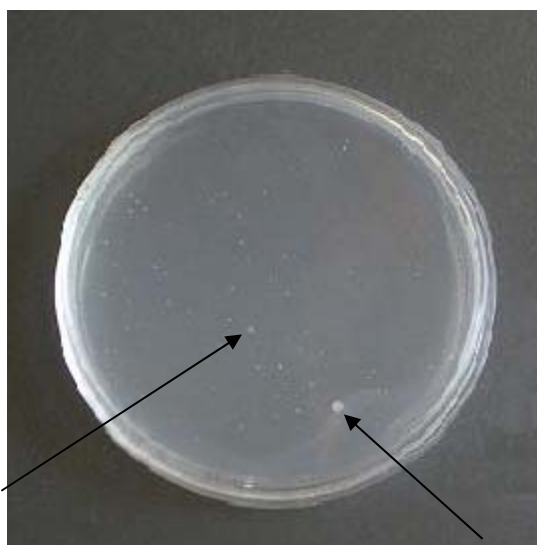
Sendo os fungos favorecidos por meios ácidos (Golueke, 1972 e Bot & Benitez, 2005), humidade alta e temperaturas compreendidas entre 22,5 e 45 °C (Finstein & Morris, 1975), foi durante a fase inicial que estes organismos encontraram as melhores condições para se desenvolverem. Para além das condições ambientais, é nesta fase que se encontra

disponível maior quantidade de substâncias facilmente degradáveis, as quais são decompostas sobretudo, pelos fungos (Goyal *et al.*, 2005).

Nas duas pilhas de compostagem, verificou-se um aumento do número de fungos nas amostras depois do 2º reviramento, nas duas temperaturas de incubação (Figura 21 e Figura 22), o que pode estar associado ao fraccionamento provocado e ao aumento de substâncias de degradação fácil. Também o maior arejamento causado pelo reviramento poderá ter contribuído para o aumento deste organismos.

4.1.5.2. Enumeração de Bactérias heterotróficas

De acordo com Day e Shaw (2005), as bactérias (Figura 23) mesófilas alternam com as termófilas durante a compostagem. Neste caso, tal como verificado por Beata-Hall *et al.*



(2002), não foi visível uma alternância significativa entre estes grupos de organismos, predominando as bactérias termófilas ao longo do processo, em ambas as pilhas. Após o 2º reviramento, verificou-se maior actividade bacteriana, causada pelo fraccionamento das partículas e pelo maior arejamento, principalmente na pilha ventilada (Figura 24).

Figura 23: Aspecto de uma placa de Petri colonizada por bactérias, como as indicadas pelas setas

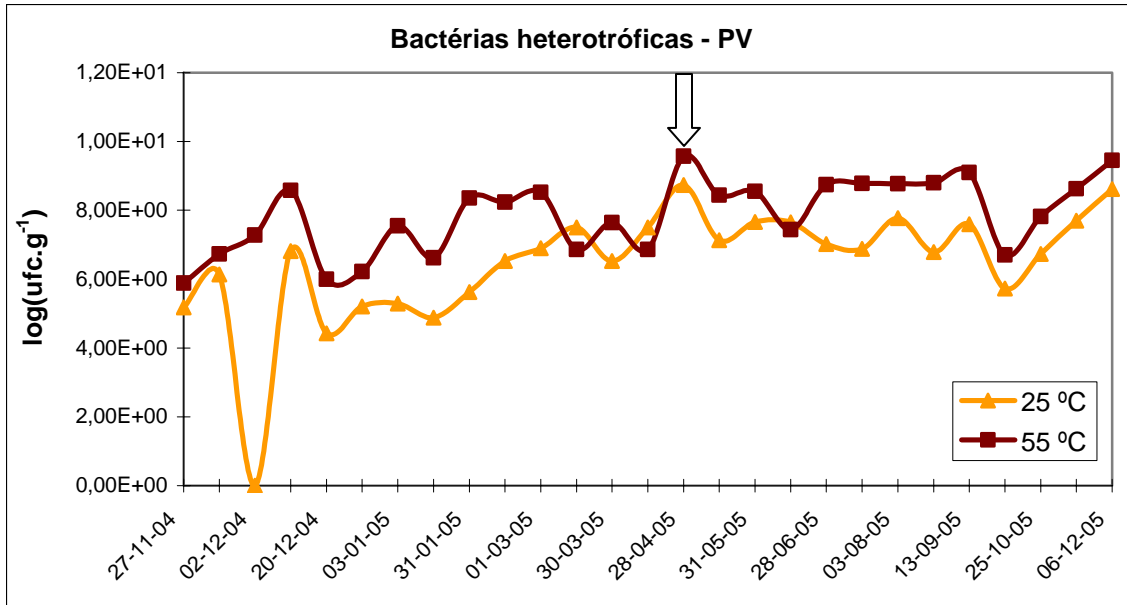


Figura 24: Variação da população de bactérias heterotróficas, incubadas a 25 e a 55 °C na pilha ventilada ao longo do processo, sendo: ↓ reviramento com fraccionamento

Sendo as bactérias predominantes em número durante a compostagem (Day & Shaw, 2005), em ambas as pilhas quantificaram-se populações elevadas de bactérias, com diferenças significativas no composto incubado a 25 °C, apresentando a pilha revirada população superior (Anexo 5.5).

Após o 1º dia de compostagem, a população de bactérias foi superior na pilha revirada, o que pode ter sido devido à temperatura mais elevada que se verificou nesta pilha. Passados 151 e 375 dias de compostagem, a população de bactérias foi superior na pilha ventilada devido, em princípio, à maior disponibilidade de oxigénio (Quadro 8).

Na pilha ventilada, as amostras incubadas a 25 °C, apresentaram uma população máxima de $5,52 \times 10^8$ u.f.c. g⁻¹ aos 152 dias de compostagem. Incubadas a 55 °C, as amostras atingiram o seu valor máximo na mesma data com $3,74 \times 10^9$ u.f.c. g⁻¹, após o reviramento (Figura 24).

No início da fase de maturação e no final do ensaio o número de bactérias também aumentou (Figura 24), com a diminuição da temperatura, estando estes organismos correlacionados negativamente com esta variável (Anexo 6).

No caso das bactérias da pilha revirada, verificaram-se valores de $4,62 \times 10^9$ u.f.c. g^{-1} para as amostras incubadas a $25^\circ C$ aos 227 dias após o início do processo, e de $7,84 \times 10^9$ u.f.c. g^{-1} para as incubadas a $55^\circ C$ aos 250 dias de compostagem (Figura 25).

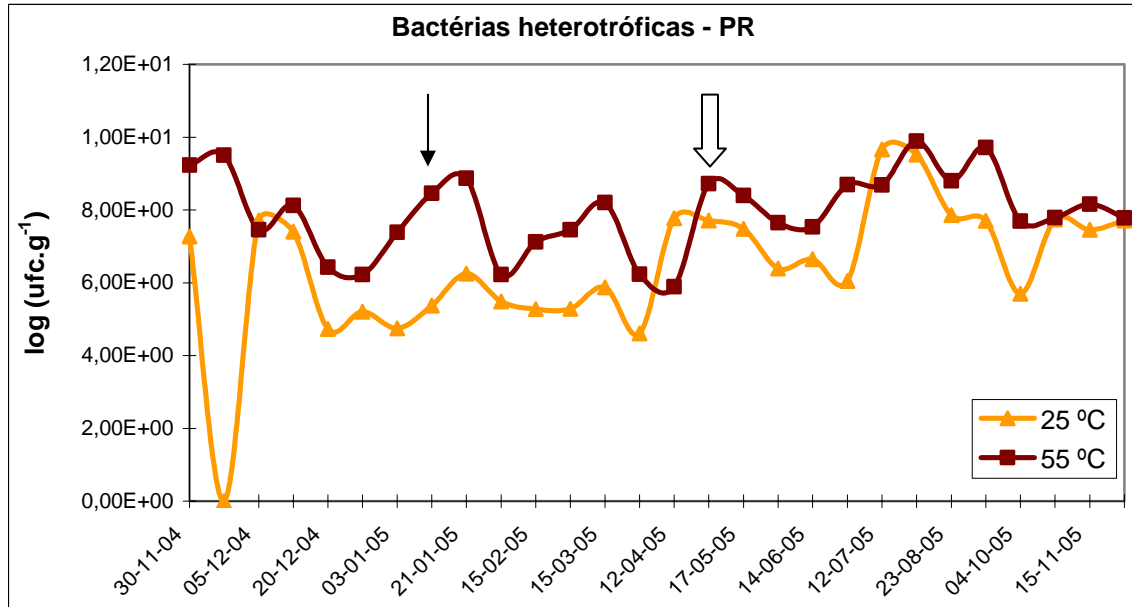


Figura 25: Variação da população de bactérias heterotróficas, incubados a $25^\circ C$ e a $55^\circ C$ na pilha revirada ao longo do processo, sendo: ↓ reviramento, ↓↓ reviramento com fraccionamento

Os reviramentos incrementaram a população bacteriana na pilha revirada, apesar do número de colónias mais elevado ter sido quantificado quando as temperaturas começaram a descer (Figura 25), tendo-se verificado uma correlação negativa com a temperatura (Anexo 7).

4.1.5.3. Enumeração de Actinomicetes

Os meios de cultura em que foram inoculados os actinomicetes apresentaram diferente desempenho. Verificou-se que, quando inoculados em $\frac{1}{2}$ PCA, a população de actinomicetes foi superior, principalmente a $55^\circ C$ (Quadro 9).

Quadro 9: População de actinomicetes em PV e PR em diferentes meios de crescimento

Meios de cultura	PV	PR
½ PCA 25 °C	15,8E+00b	14,5 E+00b
½ PCA 55 °C	18,8 E+00a	18,9 E+00a
AIA 25 °C	11,9 E+00c	12,7 E+00c
AIA 55 °C	15,0 E+00b	13,6 E+00bc
ACPP	7,16 E+00d	6,19 E+00d
ACCN	7,42 E+00d	7,26 E+00d
ACPPCN	7,13 E+00d	6,85 E+00d

Na mesma coluna, os valores seguidos da mesma letra, não são estatisticamente diferentes para $p \leq 0,05$, pelo Teste de Duncan.

PV, composto da pilha ventilada; PR, composto da pilha revirada; PCA, plate count agar; AIA, actinomycte isolation agar; ACPP, amido solúvel, caseína, penicilina e polimixina; ACCN, amido solúvel, caseína, cicloheximida e nistatina; ACPPCN, amido solúvel, caseína, penicilina, polimixina, cicloheximida e nistatina; 25° C e 55°C, temperaturas de incubação.

Os meios em que foram adicionados antibióticos foram os que mostraram crescimento inferior de actinomicetes (Quadro 9). O meio base (AC), deixou de ser utilizado por não permitir a enumeração dos organismos. Em ambos os compostos, verificou-se que, no meio ACPP, ACCN e ACPPCN existiam menos colónias de actinomicetes no final da compostagem, contrariamente ao que se verificou nos restantes meios de cultura (Figura 26 e Figura 27) e ao referido por Golueke (1972).

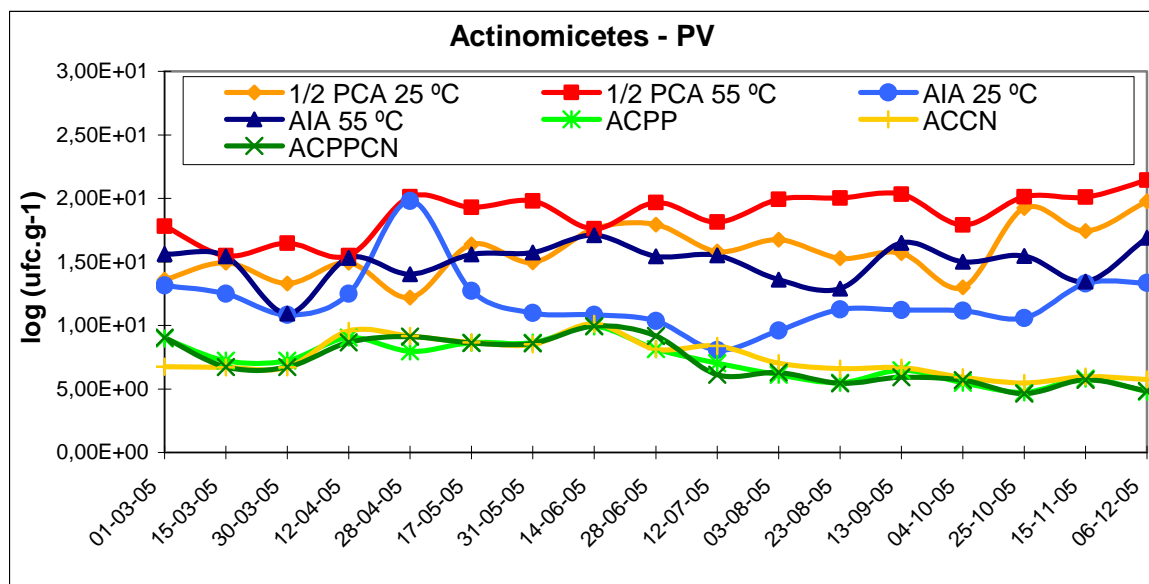


Figura 26: Monitorização de actinomicetes em diferentes meios de cultura em PV

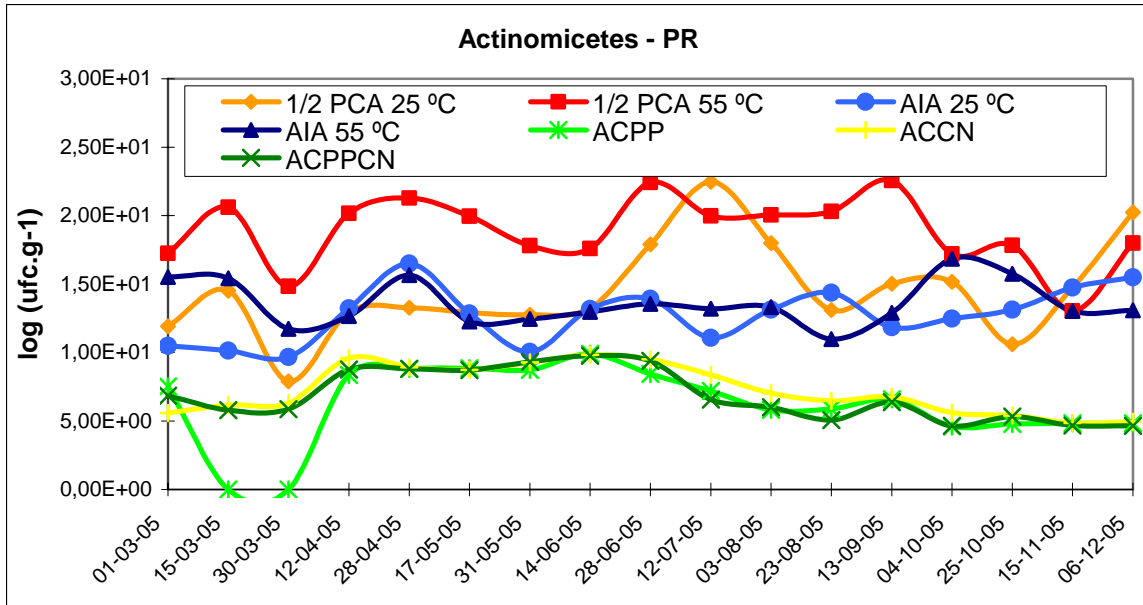


Figura 27: Monitorização de actinomicetes em diferentes meios de cultura em PR

Assim e de acordo com estes resultados, os dados avaliados relativamente aos actinomicetes dizem respeito apenas à população monitorizada em 1/2 de PCA, considerando-se este meio mais adequado ao crescimento destes organismos.

Para além do maior desempenho, recorrendo a este meio é possível quantificar os

actinomicetes, num menor período de tempo, tendo este método custo inferior.

Os actinomicetes (Figura 28), quando incubados a 55 °C, apresentaram populações significativamente superiores na pilha revirada (Anexo 5.5).

No início da compostagem (dia 1) não se verificaram diferenças entre as duas pilhas estudadas (Quadro 8).

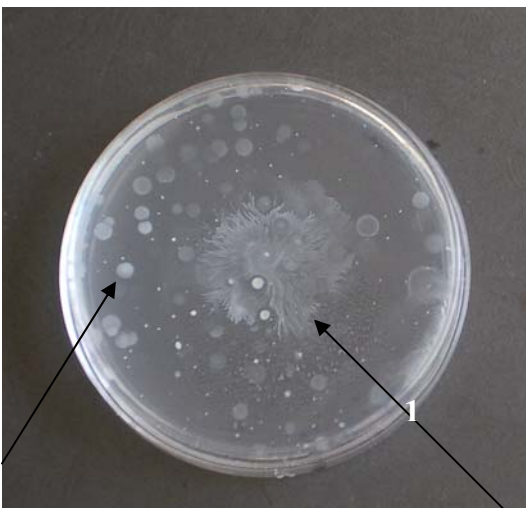


Figura 28: Aspecto de uma placa de Petri colonizada por actinomicetes, tal como os indicados pelas setas.

1- Actinomicete com micélio ramificado

Aos 151 dias após o início do processo, os actinomicetes incubados a 25 °C, mostraram uma população superior na pilha revirada, tal como aos 375 dias. Nesta data também os actinomicetes incubados a 55 °C, apresentaram população superior, mas na pilha ventilada (Quadro 8).

Nas duas pilhas, a população de actinomicetes incubada a 55 °C teve tendência, tal como se verificou para as restantes bactérias, a ser superior à população a 25 °C (Figura 29 e Figura 30).

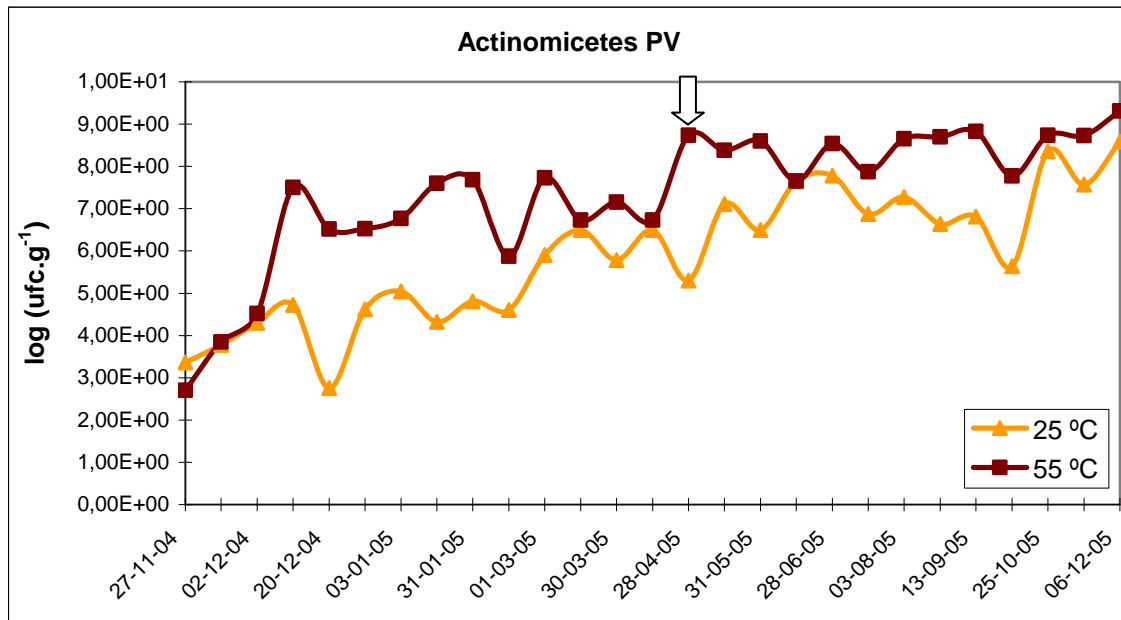


Figura 29: Evolução da população de actinomicetes na pilha ventilada ao longo do processo, incubados a 25 e a 55 °C, sendo: ↓ reviramento com fraccionamento

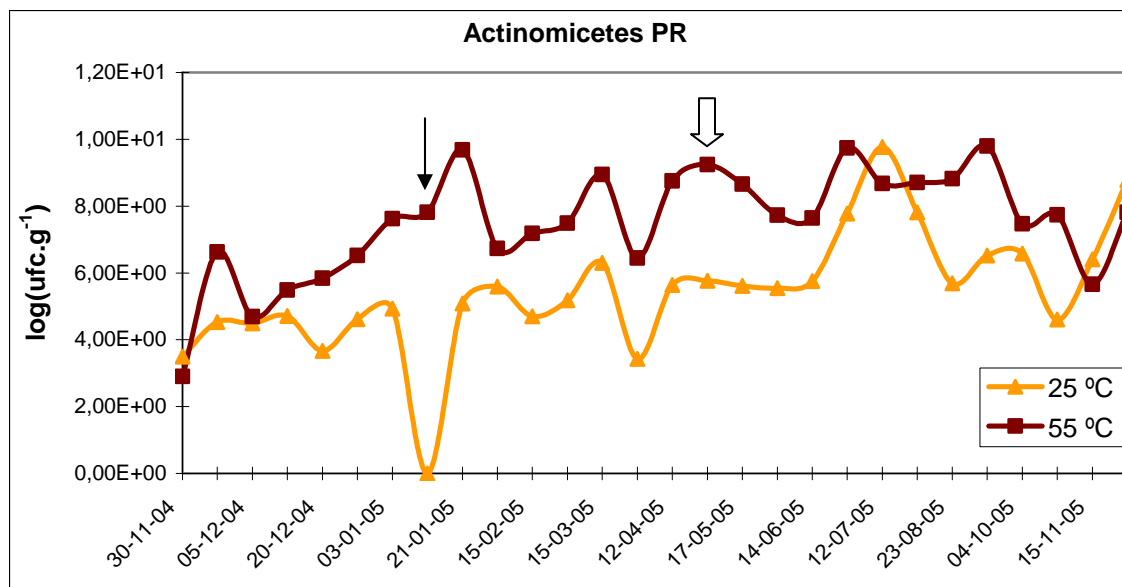


Figura 30: Evolução da população de actinomicetes na pilha revirada ao longo do processo, incubados a 25 e a 55 °C, sendo: ↓ reviramento, ↓↓ reviramento com fraccionamento

As populações mais elevadas de actinomicetes, quantificados na pilha ventilada, registaram-se no final da compostagem, com $3,86 \times 10^8$ u.f.c. g^{-1} para as amostras incubadas a 25 °C e $2,04 \times 10^9$ u.f.c. g^{-1} a 55 °C (Figura 29). Na pilha ventilada, os actinomicetes estiveram correlacionados com algumas variáveis físicas e químicas, o que não se verificou na pilha revirada (Anexos 6 e 7). Tanto nas incubações a 25 °C como a 55 °C, o azoto correlacionou-se positivamente com os actinomicetes, ao passo que a matéria orgânica e a temperatura estiveram correlacionados com estes organismos negativamente. Na pilha revirada, a população atingiu o valor máximo de $5,83 \times 10^9$ u.f.c. g^{-1} , aos 227 dias de compostagem, nas amostras incubadas a 25 °C; ao passo que a 55 °C foram quantificadas $6,33 \times 10^9$ u.f.c. g^{-1} aos 291 dias de compostagem (Figura 30).

Para ambas as pilhas, a partir do 2º reviramento notou-se um aumento gradual destes organismos (Figura 29 e Figura 30), por existência de melhores condições para o seu desenvolvimento, como o aumento do pH, pois estes decompositores são afectados por condições ácidas (Goodfellow & Willians, 1983).

Na fase de maturação, a maior colonização do meio pelos actinomicetes, deve-se à temperatura mesofílica (Nakasaki, 1985a), meio ligeiramente alcalino (Goodfellow &

Willians, 1983) e ainda com celulose, hemicelulose e lenhina por decompor (Day e Shaw, 2005).

4.2. Análises Biológicas

4.2.1. Índice de Germinação

O índice de germinação (IG), medido no composto com 375 dias, não mostrou diferenças entre os dois compostos estudados e a testemunha (Quadro 10).

Quadro 10: Índice de germinação nos compostos estudados, com 375 dias

	Controlo ¹	PV	PR
IG (%)	100a	93,4a	99,2a

Os valores seguidos da mesma letra não são estatisticamente diferentes para $p \leq 0,05$ pelo Teste de Duncan.

IG, índice de germinação, PV, composto da pilha ventilada; PR, composto da pilha revirada.

Segundo Zucconi *et al.* (1985), para que os compostos possam ser utilizados na agricultura, o índice de germinação deve ser superior a 65-70 %. De acordo com esta referência, foram atingidos bons resultados nos compostos provenientes das duas pilhas de compostagem.

4.3. Qualidade dos compostos obtidos

Os compostos apresentaram evolução semelhante do dia 151 para o 375 (Quadro 11).

Quadro 11: Características dos compostos aos 151 e 375 dias de compostagem

	PV		PR		Valor aconselhável	
	151 Dias	375 Dias	151 Dias	375 Dias	Composto ¹	Substrato ²
Ganulometria (mm)	85,7 (> 1mm)	83,7 (> 1 mm)	82,3 (> 1mm)	81,9 (> 1mm)	99 % < 40 90 % < 25	0,25 – 2,5
Dr	1,54	1,58	1,50	1,58		
Daph	0,536	0,655	0,504	0,650		0,4
Daps	0,217	0,274	0,226	0,255		
EPT (%)	95,9	82,7	84,9	83,9		> 85
CTR (%)	29,6	34,3	26,3	34,0		< 30
CA (%)	29,5	12,4	18,7	15,3		20 – 30
AFU (%)	27,4	31,0	29,5	32,1		20 – 30
ADU (%)	27,0	35,3	34,5	32,7		
AR (%)	2,00	4,08	2,26	3,81		4 – 10
M.O. (%)	87,8	81,6	90,2	81,8	> 18	> 80
M.M. (%)	12,2	18,4	9,8	18,2	< 82	< 20
Azoto – Kjeldhal (%)	1,52	2,00	1,37	2,19	> 0,75	
P (g / kg)	0,57	1,29	0,57	0,99	> 2,18	0,006-0,01
K (g / kg)	0,94	0,78	0,79	0,48	> 6,25	0,15-0,249
Ca (g / kg)	13,7	14,3	14,2	14,3	> 18,6	> 0,02
Mg (g / kg)	1,67	1,26	1,20	0,90	> 2,10	> 0,07
Fe (g / 100 g)	0,410	0,362	0,262	0,101		0,00003-0,0003
Relação C/N	32,2	23,8	37,3	21,6		20 – 40
pH	6,07	7,53	5,95	7,22	6,5 – 8,0	5,2 - 6,3
CE (dS m ⁻¹)	1,53	0,41	1,56	0,30		0,75-1,99
MS (%)	56,3	51,2	56,6	46,7	> 60	
IG (%)	-	93,4	-	99,2		

¹ Composto para aplicação ao solo; ² Composto para utilização como substrato PV, pilha ventilada; PR, pilha revirada; Dr, densidade real; Daph, densidade aparente húmida; Daps, densidade aparente seca; EPT, espaço poroso total; CTR, contracção do material; CA, capacidade de arejamento; AFU, água facilmente utilizável; ADU, água dificilmente utilizável; AR, água de reserva; M.O., matéria orgânica; M.M., matéria mineral; P, fósforo; K, potássio, Ca, cálcio; Mg, magnésio; Fe, ferro; CE, condutividade eléctrica; M.S., matéria seca; IG, índice de germinação.

De acordo com o Quadro 2, verificou-se a melhoria de algumas variáveis estudadas, ao passo que noutros essa evolução foi menos benéfica para o uso agrícola (Quadro 11).

A degradação da matéria orgânica levou à diminuição do tamanho das partículas, tendo contribuído para um aumento dos poros capilares favorecendo a retenção de água. Deste

modo, o EPT apresentou valores abaixo do recomendado, para uso como substrato, no entanto essa redução pode não ser significativa em termos agronômicos, pois o valor situa-se ligeiramente abaixo do recomendado. Em ambos os compostos, verificou-se um aumento da AFU, ADU e AR. A AFU aumentou, ultrapassando ligeiramente os limites ótimos e a AR atingiu os limites mínimos (Quadro 11). A CA, que aos 151 dias se encontrava adequada no composto da pilha ventilada, aos 375 dias apresentou valores baixos para ambos os compostos. A evolução destas variáveis contribuiu para o aumento da CTR, que aos 375 dias ultrapassou em 4 %, o valor máximo recomendado (Quadro 11).

A nível químico, o teor de matéria orgânica diminuiu em ambos os compostos, situando-se acima do valor mínimo recomendado (Quadro 11).

O azoto orgânico apresentou valores elevados, acima do limite mínimo recomendado por Ferreira *et al.* (2002) (Quadro 11).

Para o uso geral na agricultura, o pH de ambos os compostos evoluiu no sentido positivo. Aos 375 dias de compostagem o pH estava situado dentro dos limites adequados; aos 151 dias, ambos os compostos apresentavam o pH ligeiramente ácido (Quadro 11) e abaixo do limite mínimo recomendado para uso geral na agricultura (Ferreira *et al.*, 2002).

O índice de germinação elevado (Zucconi *et al.*, 1985) aos 375 dias, garante segurança no uso de ambos os compostos.

A apreciação do grau de maturação recorrendo a variáveis empíricas como o odor, a aderência às mãos e a cor, permitiram considerar, mais uma vez, a adequada maturação destes compostos (Fernandes & Costa, 1997).

As variáveis analisadas estiveram dentro dos limites ótimos ou afastaram-se ligeiramente, sem grande impacto agronómico. Pode-se considerar que os compostos, principalmente aos 375 dias, mostraram propriedades para poderem ser utilizados com sucesso em agricultura sustentável. Os dois compostos apresentaram elevado teor de matéria orgânica e de azoto orgânico, pH neutro, CE baixa e boas relações ar-água.

4.4. Valor agronómico do composto

4.4.1. Aplicação dos compostos ao solo

As características dos compostos obtidos permitem a sua aplicação ao solo como fertilizante ou correctivo orgânico.

O elevado teor de matéria orgânica presente (Quadro 11), será favorável, principalmente em solos pobres, havendo incorporação no solo de macro e micronutrientes, através da mineralização. O teor de azoto destaca-se particularmente por ser muito elevado.

O pH neutro a ligeiramente alcalino de ambos os compostos (Quadro 11), poderá contribuir, dependendo do tipo solo, para a melhoria da acidez ou alcalinidade e para a estabilização do pH.

Devido à baixa condutividade eléctrica verificada (Quadro 11), os compostos poderão ser aplicados a solos com salinidade elevada, contribuindo para a sua diminuição.

A aplicação dos compostos em solos poluídos poderá contribuir para a mais rápida degradação de alguns elementos poluentes.

Embora o teor de nutrientes dos compostos (Quadro 11) tenha sido inferior ao recomendado por Ferreira *et al.* (2002), a sua aplicação ao solo será favorável, pois há um incremento de matéria orgânica e de macro e micronutrientes.

Os compostos podem incorporar no solo populações elevadas de microrganismos, que irão favorecer o desenvolvimento vegetativo.

4.4.2. Utilização dos compostos como substratos hortícolas

Verificou-se que o comportamento dos compostos com 151 dias, como substratos hortícolas, foi inferior ao do substrato comercial (SC), apresentando este, resultados superiores para a maioria das variáveis determinadas com excepção da RD/H (Quadro 12).

Quadro 12: Valores médios das variáveis estudadas no final do viveiro (composto com 151 dias)

	D (mm)	H (cm)	Nº folhas	PFA (g)	PSA (g)	MSA %	RD/H
Melão							
SC	4,09a	19,9a	3,83a	5,54a	0,56a	9,99ab	21,9b
PV	3,52b	5,64b	3,89a	2,47b	0,24b	9,78b	63,8a
PR	3,27c	5,02b	3,28b	2,03b	0,22b	10,8a	66,5a
Tomate							
SC	3,47a	19,0a	5,11a	3,80a	0,46a	12,0a	18,3c
PV	2,49b	8,38b	3,83b	1,00b	0,10b	10,3b	30,5b
PR	2,10c	5,54c	2,77c	0,41c	0,04c	9,77b	38,0a

Separação de médias pelo teste de Duncan (em cada espécie, na mesma coluna, os valores seguidos da mesma letra não são estatisticamente diferentes para $p \leq 0,05$). SC, substrato comercial, PV, substrato obtido a partir da pilha ventilada; PR, substrato obtido a partir da pilha revirada; D, diâmetro do colo, H, altura; PFA, peso fresco da parte aérea; PSA, peso seco da parte aérea; MSA, matéria seca da parte aérea; RD/H, relação diâmetro / altura.

O composto da pilha ventilada apresentou resultados significativamente superiores aos da pilha revirada, de forma mais evidente na cultura do tomate, pois no melão apenas o diâmetro do colo e número de folhas apresentaram desenvolvimento superior no composto da pilha ventilada. A matéria seca foi superior em PR e as restantes variáveis não apresentaram diferenças (Quadro 12).

O número de dias que as plantas dos substratos PV e PR necessitaram para atingir o tamanho das plantas do SC, foi também bastante elevado (Quadro 13).

Quadro 13: Número de dias que as plantas levaram a atingir o tamanho para plantação

	SC	PV	PR
Melão	29	63	63
Tomate	34	68	70

SC, substrato comercial, PV, substrato obtido a partir da pilha ventilada; PR, substrato obtido a partir da pilha revirada.

Para o melão, os substratos PV e PR necessitaram de mais 34 dias para que as plantas atingissem a mesma altura que as plantas em SC no 29º dia após a sementeira. No tomate, foram necessários mais 34 dias em PV e 36 em PR (Quadro 13). Esta diferença de dois dias entre os substratos PV e PR é pouco relevante do ponto de vista agronómico.

O melhor desempenho do composto da pilha ventilada pode ser explicado pelos valores mais elevados do espaço poroso total e da capacidade de arejamento (Quadro 11), os quais se aproximam mais do substrato comercial (Anexo 8). Tendo em conta que o ensaio foi realizado num período em que a evapotranspiração era mais elevada, estas variáveis poderiam apresentar benefícios, uma vez que a frequência da rega poderia ter sido superior nesta época.

Nos compostos aos 151 dias de compostagem ainda não se tinha alcançado a temperatura mais elevada, podendo ainda estar presentes substâncias fitotóxicas que poderiam ter afectado o desenvolvimento das plantas.

Em relação a SC, verificou-se ainda que o teor dos macronutrientes potássio, cálcio e magnésio (este apenas em PR), foram inferiores, podendo o desenvolvimento das plantas ter sido prejudicado por este facto.

Os substratos obtidos a partir dos compostos de ambas as pilhas com 375 dias de compostagem, apresentaram resultados significativamente inferiores ao substrato comercial na maioria das variáveis estudadas (Quadro 14). Este facto pode-se ter ficado a dever aos baixos teores dos nutrientes K, Mg e Fe (este em PR) quando comparados com o SC ou a algumas características físicas menos favoráveis, como por exemplo o EPT e a CA. O pH de SC também foi mais favorável ao desenvolvimento de tomate e melão.

Quadro 14: Valores médios das variáveis estudadas no final do viveiro (composto com 375 dias)

	D (mm)	H (cm)	Nº folhas	PFA (g)	PSA (g)	MSA %	RD/H
Melão							
SC	2,91b	10,1a	5,06a	1,67a	0,17a	10,0a	28,9c
PV	3,27a	8,18c	3,50b	1,16b	0,08b	6,82b	40,4a
PR	3,23a	9,11b	3,67b	1,32b	0,09b	6,98b	35,8b
Tomate							
SC	3,70a	11,6a	3,89b	1,80a	0,14a	7,67c	32,0c
PV	2,10c	4,62c	3,44c	0,41c	0,04c	9,24b	45,9a
PR	2,61b	6,50b	4,44a	0,77b	0,08b	10,8a	40,3b

Separação de médias pelo teste de Duncan (em cada espécie, na mesma coluna, os valores seguidos da mesma letra não são estatisticamente diferentes para $p \leq 0,05$).

SC, substrato comercial; PV, substrato obtido a partir da pilha ventilada; PR, substrato obtido a partir da pilha revirada; D, diâmetro do colo, H, altura; PFA, peso fresco da parte aérea; PSA, peso seco da parte aérea; MSA, matéria seca da parte aérea; RD/H, relação diâmetro / altura.

Na cultura do tomate, o composto da pilha revirada apresentou resultados superiores aos da pilha ventilada, verificando-se o inverso apenas na relação diâmetro / altura (Quadro 14). O melhor desempenho do composto da pilha revirada, foi devido provavelmente, ao seu pH neutro ao passo que o da pilha ventilada era ligeiramente alcalino (Quadro 11), ultrapassando o intervalo adequado para o tomate, que se situa entre 5,5 e 7,0 (Almeida, 2006), o que pode ter levado à diminuição da assimilação de alguns nutrientes (Abad *et al.*, 2004).

Na cultura do melão, a maioria das variáveis não apresentaram diferenças entre os substratos dos dois compostos. A altura do melão foi superior no composto da pilha revirada e a relação diâmetro/altura no da pilha ventilada (Quadro 14). O pH do composto da pilha ventilada, segundo Almeida (2006), também ultrapassou o limite máximo aconselhado para esta cultura.

A diferença do número de dias que as plantas necessitaram para atingir a mesma altura das plantas em SC, diminuiu em relação ao ensaio com o composto aos 151 dias de compostagem (Quadro 15), possivelmente porque os compostos já se encontravam numa fase de maturação mais avançada e pela diferente época do ano em que se realizou o viveiro.

Quadro 15: Número de dias que as plantas levaram a atingir o tamanho para plantação

	SC	PV	PR
Melão	44	55	50
Tomate	44	69	63

SC, substrato comercial, PV, substrato obtido a partir da pilha ventilada; PR, substrato obtido a partir da pilha revirada.

No substrato PR, o melão levou mais 6 dias a atingir a mesma altura que as plantas do SC (Quadro 15). Estes valores, agronomicamente poderão ter menos importância ao serem compensados por factores económicos e ambientais, decorrentes do uso dos compostos.

Entre os dois substratos, verificou-se que, em PR, se necessitou de um menor número de dias para atingir o tamanho comercial, em ambas as culturas (Quadro 15).

Podem-se obter melhores resultados misturando estes compostos com turfa. Assim, apesar do interesse da utilização da turfa, é possível praticar uma agricultura mais

sustentável, reduzindo a utilização da turfa e reutilizando os resíduos provenientes da actividade agrícola.

4.5. Capacidade Supressiva dos Compostos

4.5.1. Ensaio de supressividade em relação a *Rizoctonia solani*

Teste do composto com 151 dias

Aos 151 dias de compostagem não se verificaram diferenças na percentagem de germinação das plantas entre os dois compostos. Apenas na turfa incubada a 25 °C (T25) e inoculada, a percentagem de germinação foi inferior (Quadro 16).

Quadro 16: Percentagem de germinação, severidade e incidência da doença no composto aos 151 dias de compostagem

		Germinação (%)	Severidade da doença	Incidência da doença
PV	Não Inoculado	1,00a	1,00b	0,000c
	Inoculado	1,00a	1,06b	0,049bc
PR	Não Inoculado	1,00a	1,00b	0,000c
	Inoculado	1,00a	1,08b	0,076b
T25	Não Inoculado	1,00a	1,00b	0,000c
	Inoculado	0,96b	2,33a	0,729a
T60	Não Inoculado	1,00a	1,00b	0,000c
	Inoculado	1,00a	2,47a	0,843a

Separação de médias pelo Teste de Duncan (para cada coluna, valores seguidos da mesma letra, não são estatisticamente diferentes para $p \leq 0,05$).

PV, composto da pilha ventilada; PR, composto da pilha revirada; T25, turfa incubada a 25 °C durante 7 dias; T60, turfa incubada a 60 °C durante 7 dias.

Uma semana após a sementeira, quando se analisou a severidade da doença, as plantas nos substratos não inoculados não estavam afectadas por *Rhizoctonia solani*. Nos substratos onde se inoculou o fungo, verificou-se que nos compostos, apesar de não existirem diferenças estatísticas em relação ao composto não inoculado, o fungo causou lesões em algumas plantas. Na turfa inoculada, tanto a 25 como a 60 °C, observaram-se lesões pequenas a grandes nas plantas. Na turfa incubada a 60 °C (T60) a doença

apresentou maior severidade. Esta situação deve-se ao facto de a turfa esterilizada estar isenta de microrganismos que pudessem controlar a *Rhizoctonia solani*, ficando esta com maiores condições para causar doenças nas plantas (Quadro 16).

Relativamente à incidência da doença, os resultados foram semelhantes. Assim verificou-se que nos dois compostos inoculados poucas foram as plantas atacadas, não se verificando diferenças. A incidência da doença foi estatisticamente superior em T25 e T60 inoculados, tendo 73 e 84 % das plantas sido afectadas (Quadro 16).

Teste do composto com 375 dias

No composto com 375 dias, a percentagem de germinação foi superior em T25 não inoculado e entre as restantes modalidades não se verificaram diferenças estatísticas (Quadro 17).

Quadro 17: Percentagem de germinação, severidade e incidência da doença no composto aos 375 dias de compostagem

		Germinação (%)	Severidade da doença	Incidência da doença
PV	Não Inoculado	0,704b	1,00c	0,000c
	Inoculado	0,533b	2,77b	0,532b
PR	Não Inoculado	0,734b	1,00c	0,000c
	Inoculado	0,557b	2,82b	0,521b
T25	Não Inoculado	0,987a	1,00c	0,000c
	Inoculado	0,653b	3,81a	0,948c

Separação de médias pelo Teste de Duncan (para cada coluna, valores seguidos da mesma letra, não são estatisticamente diferentes para $p \leq 0,05$).

PV, composto da pilha ventilada; PR, composto da pilha revirada; T25, turfa incubada a 25 °C durante 7 dias.

No final do ensaio, nos substratos inoculados verificou-se que, em ambos os compostos, a *Rhizoctonia solani* causou grandes lesões nas plantas e na turfa verificou-se *damping-off* pós – emergência, enquanto que nos substratos não inoculados, as plantas estavam sãs, sem diferenças nas três modalidades (Quadro 17).

Relativamente à incidência da doença, nos substratos inoculados, aproximadamente metade das plantas dos compostos foram afectadas, na turfa a doença incidiu em 94 % das plantas. Os dois compostos não mostraram diferenças entre si (Quadro 17).

Na ausência de inoculo, as plantas não mostraram diferenças entre tratamentos (Quadro 17).

Teste do composto com 2 anos

Uma vez que não se verificaram diferenças entre os dois compostos, tanto aos 151 como aos 375 dias, no composto com dois anos não foram feitos testes no da pilha ventilada.

A percentagem de germinação foi superior em T25 não inoculado, onde 97 % das sementes germinaram. Pelo contrário, a germinação foi inferior em T25 inoculado. As duas modalidades de PR não mostraram diferenças estatísticas entre si (Quadro 18).

Quadro 18: Percentagem de germinação, severidade e incidência da doença no composto aos 2 anos de compostagem

		Germinação (%)	Severidade da doença	Incidência da doença
PV	Não Inoculado	-	-	-
	Inoculado	-	-	-
PR	Não Inoculado	0,880b	0,998c	0,000c
	Inoculado	0,849b	1,61b	0,268b
T25	Não Inoculado	0,972a	1,00c	0,000c
	Inoculado	0,562c	3,88a	0,916a

Separação de médias pelo Teste de Duncan (para cada coluna, valores seguidos da mesma letra, não são estatisticamente diferentes para $p \leq 0,05$).

PV, composto da pilha ventilada; PR, composto da pilha revirada; T25, turfa incubada a 25 °C durante 7 dias.

A severidade da doença foi superior em T25 inoculado, verificando-se *damping-off* pós-emergência, enquanto no composto da pilha revirada, o inoculo causou apenas lesões pequenas. Em ambos os substratos, sem inoculo, não se verificaram diferenças estatísticas, estando as plantas sãs (Quadro 18).

Na ausência de inoculo, a doença não ocorreu. Em T25 inoculado a incidência da doença foi superior, tendo 92 % das plantas sido afectadas por *Rhizoctonia solani* e no composto da pilha revirada a doença incidiu em 27 % das plantas (Quadro 18).

4.5.2. Ensaio de supressividade em relação a *Fusarium* sp. e *Scelerotinia homeocarpa*

No ensaio realizado em laboratório, verificou-se que *Trichoderma* sp. proveniente do composto, apresentou melhores resultados quando comparado com os ensaios realizados com estirpes isoladas do solo e do produto comercial.

Fusarium sp. formou uma colônia e *Scelerotinia homeocarpa* (*dollar spot*) formou duas colônias. Em ambos os casos as colônias desenvolveram-se apenas até que a *Trichoderma* sp. impedisse o seu crescimento, tendo esta colonizado o meio (Figura 31). Este resultado poderá indicar que o mecanismo de actuação do antagonista *Trichoderma* sp. não é devido à produção de substâncias que se difundem no agar. Ahmed *et al.* (1999) descreveram que a acção de *Trichoderma* sp. contra *Phytophthora* sp. é do tipo mecânico, que poderá também ter ocorrido com *Fusarium* sp e *Scelerotinia homeocarpa*.

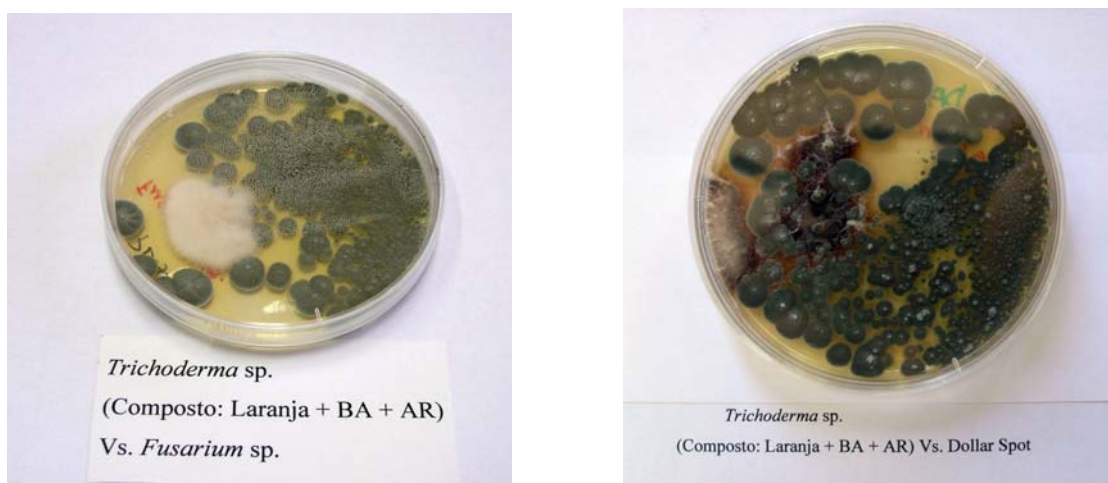


Figura 31: *Trichoderma* sp. do composto com 2 anos, inculada em meio PDA com *Fusarium* sp. e *Scelerotinia homeocarpa* (*dollar spot*).

Com *Trichoderma* sp. presente no solo, verificou-se um maior desenvolvimento dos patogénicos, principalmente de *Scelerotinia homeocarpa* (Figura 32).

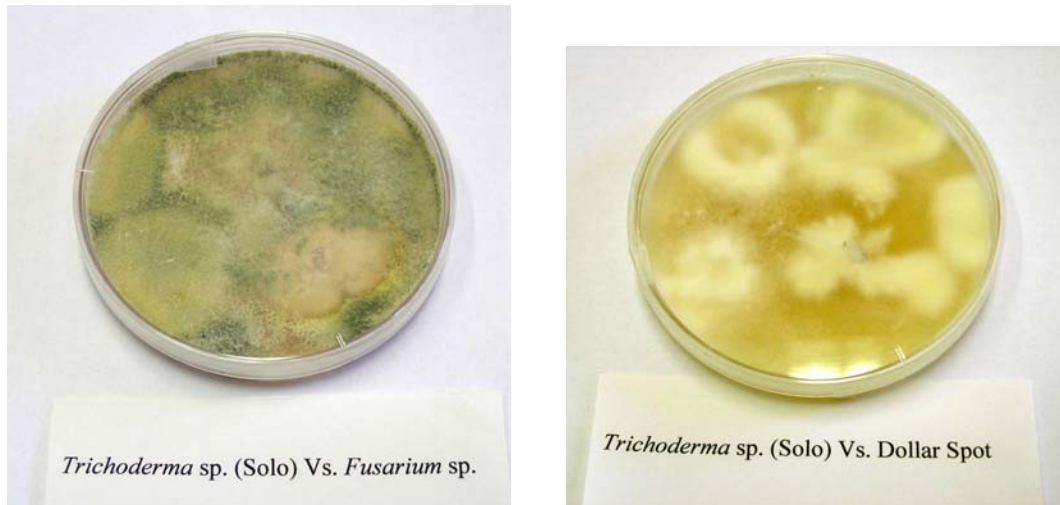


Figura 32: *Trichoderma* sp. do solo, inculada em meio PDA com *Fusarium* sp. e *Scelerotinia homeocarpa* (dollar spot).

Relativamente ao produto comercial, e em relação ao *Fusarium* sp. e à *Scelerotinia homeocarpa*, a capacidade supressiva de *Trichoderma* sp. não foi eficaz, tendo as placas de Petri sido colonizadas principalmente pelos patogênicos (Figura 33).

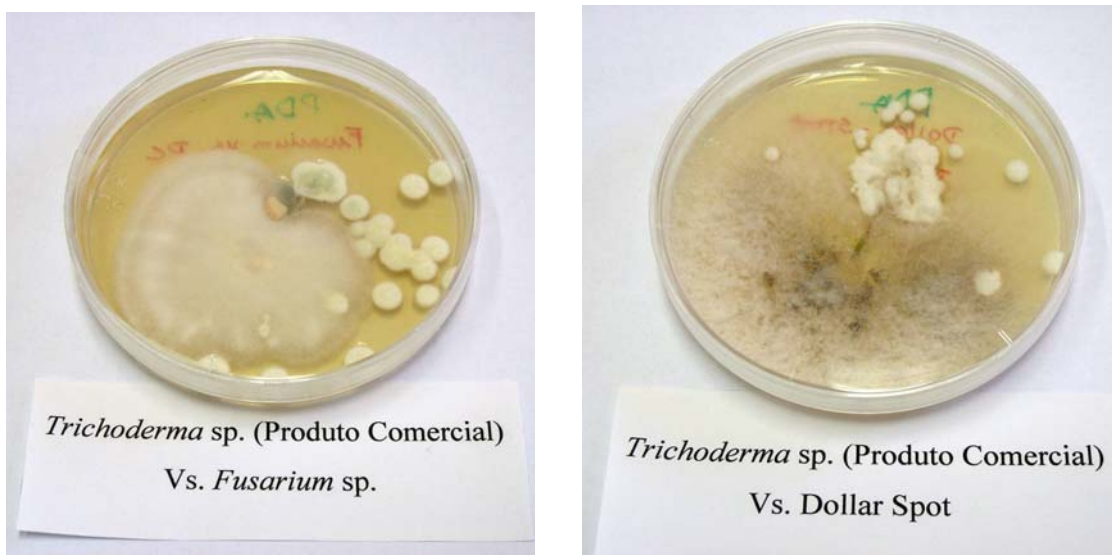


Figura 33: *Trichoderma* sp. do produto comercial, inculada em meio PDA com *Fusarium* sp. e *Scelerotinia homeocarpa* (dollar spot).

5. Conclusões

O processo da compostagem

Ao longo dos processos de compostagem realizados, as variáveis estudadas tiveram uma evolução dentro do que seria de esperar. Não se verificaram diferenças das propriedades dos compostos preparados em pilha com ventilação forçada e com reviramento mecânico. Apenas o teor de nutrientes apresentou diferenças, sendo superior no composto da pilha ventilada, no final do ensaio.

O reviramento efectuado aos 151 dias, nas duas pilhas, foi bastante importante na evolução dos dois compostos, principalmente no da pilha ventilada que ainda não tinha sofrido nenhum reviramento. Uma vez que as pilhas foram feitas maioritariamente com laranja, e que não houve qualquer tipo de trituração inicial das mesmas, o reviramento com trituração foi de extrema importância para a diminuição do tamanho das partículas e logo da evolução da compostagem. O 2º reviramento causou menos alterações na pilha revirada, pois esta já tinha sofrido um primeiro reviramento. O facto de entre os compostos finais não se verificarem diferenças, mostra a importância do reviramento e da trituração inicial das partículas e por outro lado, o pouco efeito positivo da ventilação forçada neste tipo de material e de pilha utilizada.

Como a pilha revirada só sofreu mais um reviramento que a ventilada, de acordo com os resultados obtidos, o composto da pilha revirada poderia apresentar qualidade superior ao da pilha ventilada, com menor duração do processo, recorrendo à realização de mais reviramentos da pilha.

A evolução microbiológica também foi semelhante nas duas pilhas, verificando-se apenas que a população de bactérias heterotróficas incubadas a 25 °C e de actinomicetes incubados a 55 °C, foi superior, ambos na pilha revirada. Aos 151 e 375 dias de compostagem, as maiores populações de organismos foram quantificados na pilha ventilada, devido, provavelmente ao maior arejamento.

Pode-se concluir que, nas condições do ensaio, o custo associado ao sistema de ventilação forçada não apresentou vantagens, uma vez que as diferenças estatísticas verificadas, apresentaram pouco interesse do ponto de vista agronómico.

Valor Agronómico dos compostos

Os compostos obtidos apresentaram características favoráveis à sua utilização em agricultura, principalmente pelo seu elevado conteúdo em matéria orgânica e azoto orgânico. O pH neutro e CE baixa tornam estes compostos adequados como correctivos dos solos.

Os compostos demonstraram valor como substrato hortícola, com algumas propriedades mais adequadas que SC, apesar do maior número de dias que as plantas necessitaram para atingir o tamanho comercial.

Capacidade supressiva dos compostos

Os compostos manifestaram capacidade supressiva em relação a *Rhizoctonia solani* e também relativamente a *Fusarium* sp. e *Scelerotinia homeocarpa*, o que sugere a sua possibilidade de utilização como forma ecológica de controlar estas doenças tão importantes.

A utilização de qualquer um destes dois compostos em agricultura, irá contribuir para um desenvolvimento agrícola mais sustentável, aproveitando os resíduos de agro-indústrias disponíveis na região do Algarve, com benefícios económicos e ambientais.

6. Referências Bibliográficas

- Abad, M., Noguera, P., Burés, S. 2001. Nacional inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology* 77, 197-200. In: Benito, M., Masaguer, A., De Antonio, R., Moliner, A. 2005. Use of pruning waste compost as a component in soilless growing media. *Bioresource Technology* 96, 597-603.
- Abad, M., Noguera, P., Carrión, C. 2004. Los substratos en los cultivos sin suelo. In: Abad et al., M. U. 2004. *Tratado de cultivo sin suelo*. Ediciones Mundi-Prensa. 3ª Edição. pp. 113-158.
- Abad, M., Noguera, P., Noguera, V., Roig, A., Cegarra, J., Paredes, C. 1997. Reciclado de residuos orgánicos y su aprovechamiento como sustrato de cultivo. *Actas de Horticultura nº 19. I Congresso Ibérico y III Nacional de fertirrigacion*. Volume 1. 92 - 101.
- Ahmed, A. S., Pérez-Sánchez, C., Egea, C., Candela, M. E. 1999. Evaluation of *Trichoderma harzianum* for controlling root rot caused by *Phytophthora capsici* in pepper plants. *Plant Pathology* 48, 58-65.
- Almeida, D. 2006. *Manual de culturas hortícolas*. Editorial Presença. Volume II. 325pp.
- Arshad, M. & Frankenberger, J. W. T. 1991. Microbial production of plant hormones. In: *The Rhizosphere and Plant Growth* (eds) Keister, D. L. & Cregan, P. B. Dordrecht: The Netherlands Kluwer Academic Publishers. ISBN. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. *Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease*. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16, 115-134.
- Baker, K. F. & Cook, R. J. 1974. *Biological Control of Plant Pathogens*. 433 pp. San Francisco, California: Freeman. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. *Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease*. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16, 115-134.
- Beaffa, T., Blanc, M., Marilley, L., Fisher, J. L., Lyon, P. F. & Aragno, M. 1996b. Taxonomic and metabolic microbial diversity during composting. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. *Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease*. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16, 115-134.
- Beata-Hall, L., Sàágua, M. C., Bartolomeu, M. L., Anselmo, A. M., Rosa, M. F. 2002. A compostagem como processo de valorização dos resíduos produzidos na extração de azeite em continuo. *Biotecnologia Ambiental. Boletim de Biotecnologia* 72, 31-37.
- Bot, A. & Benitez, J. 2005. The importance of soil organic matter – key to drought resistant soil and sustained food production. *FAO soil bolettin* 80: 78 pp. FAO.
- Boulter, G. J., Boland, G. J., Trevors, J. J. 2000. “Compost: A study of the development process na end-product potential for supression of turfgrass disease”. *World Journal of Microbiology Biotechnology* 16, 115-134.

- Boulter, G. J., Trevors, J. T., Boland, G. J. 2004. Microbial studies of compost: bacterial identification, and their potential for turfgrass suppression. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 18 (7), 661-671.
- Brito, L. M. 2005. Manual de Compostagem. Escola Superior Agrária de Ponte de Lima. Instituto Politécnico de Viana do Castelo.
http://ci.esapl.pt/mbrito/compostagem/Manual_Compostagem.htm (acedido em 03 de Abril de 2007).
- Capitán, F. C., Núñez, R. L., Olmedo, P. M., Carpio, J. M. 1997. Aprovechamiento agronómico de composts de Alpechín. *Fruticultura profesional - Especial Olivicultura II*. 88, 94-105.
- Castillo, G. T. 1992. Sustainable Africulture. In concept and in deed. Agricultural Administration Research and Extension. Network. Network paper nº 36, Overseas Development Administration (ODI). London. In: Diaz, R. M., J. 1998. Concepto de Sostentabilidade en Agricultura. In: Diaz, R. M., J. & Espinosa, J. L. (eds). *Agricultura Sostenible*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Columela, sec. I d. C., trad. Holgado Redondo, 1988. Capitán, F. C., Núñez, R. L., Olmedo, P. M., Carpio, J. M. 1997. Aprovechamiento agronómico de composts de Alpechín. *Fruticultura Profesional - Especial Olivicultura II*. 88, 94-105.
- Cook, J. R. & Baker, K. R. 1983. *The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens*. St. Paul, MN, American Phytopathological Society. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16, 115-134.
- Craft, C. M. & Nelson, E. B. 1992. A miniaturized and rapid bioassay for the selection of soil bacteria suppressive to *Pythium* blight of turfgrasses. *Phytopathology* 82, 206-210.
- Cunha-Queda, A.C. 2006. Compostagem de resíduos orgânicos biodegradáveis para o uso compatível em agricultura biológica. *Vida Rural* 1719 (54), 37-40.
- Cunha-Queda, A. C., Cordeiro, A., Ferreira, J., Nunes, M., Coelho, C., Wiersma, H. L., Correia de Oliveira, J. & Brandão de Menezes, J. 2005. Compostagem de resíduos agro-industriais para fertilização de culturas hortícolas e olival em agricultura biológica. *Actas Portuguesas de Horticultura* 7 (3), 275-281.
- Davis, C. L., Donkin, C. J., Hinch, S. A. & Germishuizen, P. 1992. The microbiology of pine bark composting: an electron-microscope and physiological study. *Bioresource Technology* 40, 195-204.
- Day, M., Shaw, K. 2005. Processos Biológicos, químicos, físicos del compostaje. In: Stollella, P. & Kahn, B. (eds.), *Utización de compost en sistemas de cultivo hortícola*. Ediciones Mundi-Prensa. pp. 17-50.
- De Boodt, M., Verdonck, O., Cappaert, I. 1974. Method for measuring the waterrealese curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37, 2054-2062.
- De Ceuster, T. J. J. & Hoitink., H. A. J. 1999. Using Compost to Control Plant Disease. *BioCycle* 40 (6), 61-64.
- Éliard, J. L. 1999. *Manual Geral de Agricultura*. Coleção Euroagro. Publicações Europa – América. 2ª Edição. pp 276.
- Fernandes, A. & Costa, A. 1997. Compostagem: Uma técnica para a obtenção de um fertilizante ecológico. Ficha técnica nº 69. Direcção Regional da Agricultura de Entre-Douro e Minho.

- Ferreira, J., Conceição, J., Strecht, A., Ribeiro, J., Soeiro, A., Cotrim, G. 2002. Manual de agricultura biológica – Fertilização e protecção das plantas para uma agricultura sustentável. Agrobio. 3ª Edição. Lisboa. pp. 435.
- Ferreira, W.F.C., Sousa, J. C. F. 1998. Microbiologia. Volumes I. Libel. Edições Técnicas. Lisboa.
- Finstein, M. S. & Morris, M. L. 1975. Microbiology of municipal solid waste composting. *Advances in Applied Microbiology* 19: 113-151. In: Boulter, J. I., Boland, G. J.& Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16: 115-134.
- Fokkema, N. J. 1993. Opportunities and problems of control of foliar pathogens with microorganisms. *Pesticide Science* 37: 411-416.
- Garrett, S. D. 1965. Toward biological control of soil-borne plant pathogens. In: *Ecology of soil-borne plant pathogens*, eds. K. F. Baker & W. C. Snyder, pp. 4-16. Berkely, Los Angeles, USA: University of California. In: Boulter, J. I., Boland, G. J.& Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16: 115-134.
- Goldstein, N. 2005. La industria de compostaje en Estados Unidos: pasado, presente y futuro. In: Stollella, P. & Kahn, B. (eds.), *Utilización de compost en sistemas de cultivo hortícola*. Ediciones Mundi-Prensa. pp. 3-16.
- Golueke, C. G. 1972. *Composting: A Study of the Process and its Principles*, 110 pp. Emmaus, Pennsylvania, USA: Rodale Press. In: Boulter, J. I., Boland, G. J.& Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16: 115-134.
- Golueke, C. G. 1991. Understanding the process, 14-27. In: *The Biocycle guide to the Art & Science of Composting*. The Staff of BioCycle (eds.). The JG Press, Inc. Emmaus, Pennsylvania, EUA. In: Reis, M. 1997. *Compostagem e caracterização de resíduos vegetais para utilização como substratos hortícolas*, Dissertação apresentada na Universidade do Algarve, para efeito de prestação de Provas de Doutoramento. Faro.
- Gonçalves, M. S.& Baptista, M. 2004. Proposta de norma técnica sobre qualidade e utilizações do composto.
- Goodfellow, M. & Willians, S. T. 1983. Ecology of Actinomycetes. *Annual Review of Microbiology* 37: 189-216. In: Boulter, J. I., Boland, G. J.& Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16: 115-134.
- Graves, R. & Hattemer, G. s/d. *National engineering handbook*. Chapter 2. Composting. United States Department of Agricultural. Natural Resources, Conservations service.
- Goyal, S., Dhull, S. K., Kapoor, K. K. 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*. Elsevier.
- Gray, K. R., Biddlestone, A.J., Clark, R. 1973. A review of composting, Part 3 – Process and products. *Process Biochemistry*.

- Gray, K. R., Sherman, K., Biddlestone, A. J. 1971. A Review of Composting, Part 1 - The practical process. *Process Biochemistry*.
- Henis, Y. & Chet, I. 1975. Microbial of plant pathogens. *Advances in Applied Microbiology* 19: 85-111. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potencial for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16, 115-134.
- Hirrel, S. & Riley, J. s/d. Understanding the Composting Process. Division of Agricultural. University of Arkansas. USA.
http://www.uaex.edu/Other_Areas/publications/PDF/FSA-6036.pdf [acedido em 10 de Novembro de 2004].
- Hoitink, H. A. J., Boehm, M. J. & Hadar, Y. 1993. Mechanisms of Suppression of Soilborne plant pathogens in compost-amended substrates. In: Hoiting, H. & Keener, H. (eds.). 1993. *Science and Engineering of Composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects*. The Ohio State University. Ohio. pp. 601 – 621.
- Hoitink, H. A. J., Inbar, Y. & Boehm, M. J. 1991. Status of composted-amended potting mixes naturally suppressive to soilborne diseases of floricultural crops. *Plant Dis.* 75, 869-873. In: Hoitink, H. A. J., Stone, A. G., Han, D. Y. 1997. Supresión of plant disease by composts. *Hort Science* 32, 184-187.
- Hoitink, H., Krause, M., Han, D. 2005. Posibilidades y mecanismos que ofrecen los compost en el control de las enfermidades de las plantas. In: Stoffella, P. & Kahn, B. (eds.), *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*. Ediciones Mundi-Prensa. pp. 263-274.
- Hoitink, H. A. J., Stone, A. G., Han, D. Y. 1997. Supresión of plant disease by composts. *Hort Science* 32, 184-187.
- Keeling, A.A., Griffiths, B. S., Kitz, K., Myers, M. 1995. Effects of compost stability on plant growth, microbiological parameters and nitrogen availability in media containing mixed garden-waste compost. *Bioresource Technology* 54, 279-284.
- Kim, K. D., Nemeč, S., Musson, G. 1996. Control of *Phytophthora* root and crown rot of bell peper with composts and soil amendments in the greenhouse. *Applied Soil Ecology* 5, 169-179.
- Ko, W. & Lockwood, J. L. 1970. Mechanism os lysis of fungal mycelia in soil. *Phytopathology* 60, 148-154. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potencial for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16, 115-134.
- Körner, I. & Stegmann, R. 1998. Influence of biowaste composition and composting parameters on the nitrogen dynamics during composting and on nitrogen contents in composts. *Acta Horticulturae* 469, 97-109.
- Kuter, G. A., Nelson, E. B., Hoitink, H. A. J. & Madden, L. V. 1983. Fungal populations in container media amended with composted hardwood bark suppressive and conductive to *Rhizoctonia* damping-off. *Phytopathology* 73, 1450-1456. In: Hoitink, H. A. J., Boehm, M. J. & Hadar, Y. Mechanisms of suppression of soilborne plant pathogens in compost-amended substrates. In: Hoitink, H. & Keener, H. (eds.). *Science and Engineering of Composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects*. The Ohio State University. Ohio. 601-621.

- Labrador, J. M. 1996. *Materia Orgánica en los Agrosistemas*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Lacey, J. 1973. Actinomycetales: Characteristics and Practical Importance, eds. G. Sykes & F. A. Skinner, pp 231-251. New York: Academia Press. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16, 115-134.
- Lewis, J. A., Roberts, D. P. & Hollenbeck, M. D. 1991. Introduction of cytoplasmic leakage from *Rhizoctonia solani* hyphae by *Gliocladium virens* and partial characterization of a leakage factor. *Biocontrol Science and Technology* 1, 21-29. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16, 115-134.
- Linthorst, H. J. M. 1991. Pathogenesis-related proteins of plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 10, 123-150. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16, 115-134.
- Lo, C. T., Nelson, E. B. & G. E., H. 1996. Biological control of turfgrass diseases with a rhizosphere competent strain of *Trichoderma harzianum*. *Plant Diseases* 80, 736-741. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16, 115-134.
- Lockwood, J. L., Filonow, A. B. 1981. Responses of fungi to nutrient-limiting conditions and to inhibitory substances in natural habitats. *Advances in Microbial Ecology* 5, 1-61. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16, 115-134.
- Logsdon, G. 1990. Plant protection through compost. *Biocycle* 31, 52-54.
- Lorito, M., Peterbauer, C., Hayes, C. K. & Harman, G. E. 1994. Synergistic interaction between fungal cell wall degrading enzymes and different antifungal compounds enhances inhibition of spore germination. *Microbiology* 140, 623-629.
- Lozano, D., Arturo de Juan, J., Rubio, M., Campos, I., Salvador, D., Garcia Lorenzo, M. e Hortelano, T. s/d. Valoración de humus de lombriz y un compost ecológico para su empleo en semilleros hortícolas. *Comunicaciones del VI Congreso de SEAE*. pp. 1153-1166.
- Lucas, J. A. 1998. *Plant Pathology and Plant pathogens*, 3rd ed. Osney Mead, Oxford. 247 pp. Blackwell Science, Ltd. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16: 115-134.
- Mandelbaum, R. & Hardar, Y. 1990. Effects of available carbon source on microbial activity and suppression of *Pythium aphanidermatum* in compost and peat container media. *Phytopathology* 80, 794-804.

- Martinez, F. X. 1992. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los substratos. Actas de las I Jornadas de Substratos de la SECH 294, 55-65.
- McCarthy, A. J. & Williams, S. T. 1992. Actinomycetes as agents of biodegradation in the environment – a review. *Gene* 115, 189-192. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potencial for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16: 115-134.
- Miner, J. A. 1994. Substratos – propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa.
- Nakasaki, K., Sasaki, Shoda, M. & Kubota, H. 1985a. Change in microbial numbers during thermophilic composting of sewage sludge with referente to CO₂ evolution rate. *Applied and Environmental Microbiology* 49, 37-41. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potencial for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16: 115-134.
- Nico, A. I., Mónaco, C. I., Dal Bello, G., Alippi, H. 2003. Efecto de la adición de enmiendas orgánicas al suelo sobre la capacidad patogénica de *Rhizoctonia solana*: test de patogenicidad y actividad biológica de metabolitos volátiles y difusibles. *RIA*, 32 (3): 173-192. Argentina.
- Ortega, M. C., Moreno, M. T., Ordovás, J., Aguado, M. T. 1996. Behaviour of different horticultural species in phytotoxicity bioassays of bark substrates. *Science Horticulturae* 66, 125-132.
- O'Sullivan, D. & O'Gara, F. 1992. Traits of fluorescent *Pseudomonas* spp. involved in supression of plant root pathogens. *Microbiological Reviews* 56, 662-676. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potencial for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16, 115-134.
- Pelczar, M., Reid, R., Chan, E. 1981. *Microbiologia*. Volume II. Editora McGraaw-Hill. Brasil.
- Pera, J., Calvet, C. e Camprubi, A. 1986. Succession of microbial populations during olive marc composting. *Acta horticulturae* 178, 271-278.
- Ramos, J. C. M., Vilaseca, J. S., Ramon, A. C. 1987. Control analític de la qualitat del compost i estudi de la seva maduració, p. 31-69. In: Server del Medi Ambient, Diputació de Barcelona (eds). *Experiències amb el compost*. Estudis I monografies: 12.
- Raviv, M., Oka, Y., Katan, J., Hadar, Y., Yogev, A., Medina, S., Krasnovsky, A., Ziadna, H. 2005. High-nitrogen compost as a medium for organic container-grown crops. *Bioresource Technology* 96, 419-427.
- Raviv, M., Tarre, S., Geler, Z., Shelef, G. 1987. Changes in some physical and chemical properties of fibrous solids from cow manure and digested cow manure during composting. *Biological Wastes* 19, 309-318.
- Reis, M. 1997. Compostagem e caracterização de resíduos vegetais para utilização como substratos hortícolas, Dissertação apresentada na Universidade do Algarve, para efeito de prestação de Provas de Doutorado. Faro.
- Rynk, R. & Richard, T. L. 2005. Sistemas de producción comercial de compost. In: Stoffella, P. & Kahn, B. (eds.), *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*. Ediciones Mundi-Prensa. pp. 263-274.

- Santos, J. 2001. Fertilização & Ambiente, Reciclagem Agro-florestal de Resíduos e Efluentes. Edições Europa – América. Lisboa.
- Senesi, N. & Burnetti, G. 1996. Chemical and physico-chemical parameters for quality evaluation of humic substances produced during composting. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16, 115-134.
- Sesay, A. A., Lasaridi, K., Stertiford, E. & Budd, T. 1997. Controlled composting of paper sludge using the aerated static pile method. *Compost Science and Utilization* 5, 82-96. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16: 115-134.
- Sikora, L. J. & Szmidt, R. A. K. Los compost como fuentes de nitrógeno, aportación a la mineralización y ventajas para la nutrición nitrogenada de las plantas. In: Stoffella, P. & Kahn, B. (eds.), *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*. Ediciones Mundi-Prensa. pp. 263-274.
- Stentiford, E. I. 1993. Diversity of composting systems. In: Hoiting, H. & Keener, H. 1993. *Science and Engineering of Composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects*. The Ohio State University. Ohio. pp. 95-110.
- Stoffella, P. 1996. Composts as alternatives for substrates in greenhouse seedling production systems. X Congresso Nacional Agronômico / II Congresso de Suelos. pp135.
- Sullivan, D. M., Miller, R. O. 2005. Propiedades cualitativas, medición y varibilidad de los compost. In: Stollella, P., Kahn, B. 2005. *Utilización de compost en sistemas de cultivo hortícola*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Taiwo, L. B., Oso, B. A. 2004. influence of composting techniques on microbial succession, temperature and pH in a composting municipal solid waste. *African Journal of Biotechnology* 3 (4), 239-243.
- Teixeira, L. B., Oliveira, R. F., Júnior, J. F., Germano, V. C. 2004. Características químicas de composto orgânico produzido com lixo orgânico, caroço de açaí, capim e serragem. Comunicado Técnico 105. Embrapa. M.A.P.A. Brasil.
- Torres, M., Fernandez, R., Fernandez, P. 2003. Utilización de compost de lodos de depuradora en olivar. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Varenes, A. 2003. *Produtividade dos solos e ambiente*. Escolar Editora. Lisboa.
- Ward, E. R., Uknes, S. J., Williams, S. C., Dincher, S. S., Weiderhold, D. L., Alexander, D. C., Ahl-Goy, P., Metraux, J. P. & Ryals, J. A. 1991. Coordinate gene activity in response to agents that induce systems acquired resistance. *The Plant Cell* 3, 1085-1094. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16: 115-134.
- Whipps, J. M. 1997a. Development in the Biological Control of Soil-borne plant pathogens. In *Advances in Botanical Research*. Vol.26. pp. 1-134. Academic Press. In: Boulter, J. I., Boland, G. J. & Trevors, J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16: 115-134.

Zucconi, F., Bertoldi, M. 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid wastes, pp. 30-50. In: Reis, M. 1997. Compostagem e caracterização de resíduos vegetais para utilização como substratos hortícolas, Dissertação apresentada na Universidade do Algarve, para efeito de prestação de Provas de Doutorado. Faro.

Zucconi, F., Mónaco, A., Forte, M. 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter, pp. 73-85. In: Gasser, J. K. R. (ed.). Composting of agricultural and other wastes. Elsevier Applied Science Publishers. Londres.

Anexos

Anexo 1 – Granulometria dos compostos aos 151 e 375 dias de compostagem

	151 dias		375 dias	
	PV (%)	PR (%)	PV (%)	PR (%)
>16 mm	8,99	7,36	2,01	3,55
10 – 16 mm	8,22	4,87	5,85*	4,72*
5 – 10 mm	10,3*	7,24*	12,05*	7,35*
2 – 5 mm	45,5*	48,2*	50,2	51,5
1 – 2 mm	12,7**	14,7**	13,61	14,78
0,5 – 1 mm	7,97*	9,45*	9,13	9,43
0,250 – 0,5 mm	3,78*	5,15*	4,58	4,85
0,125 – 0,250 mm	1,40***	1,96***	1,25*	2,23*
< 0,125 mm	0,362	0,515	0,312*	0,587*

Para cada dia de compostagem, na mesma linha, os valores das médias apresentam diferenças significativas para: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

Anexo 2 – Características físicas dos compostos aos 151 e 375 dias de compostagem

	PV		PR	
	151 dias	375 dias	151 dias	375 dias
ETP	85,9*	82,7*	85,1	83,8
Dr	1,54**	1,58**	1,51**	1,58**
CA	23,7	20,0	19,6	12,7
AFU	27,9	29,9	29,1	33,0
AR	2,24	2,81	3,44	3,64
ADU	30,7	32,2	32,1	34,5
Daph	0,559	0,571	0,614	0,603
Daps	0,237	0,227	0,248	0,260
CTR	29,5	31,6	32,4	30,7

Para cada dia de compostagem, na mesma linha, os valores das médias apresentam diferenças significativas para: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

Anexo 3: Correlação entre as propriedades físicas dos compostos ao longo do processo

Pilha Ventilada

	EPT	Dr	CA	AFU	AR	ADU	Daph	Daps	CTR
ETP	1								
Dr	-0,886*	1							
CA	0,112	-0,491	1						
AFU	-0,414	0,457	-0,391	1					
AR	-0,113	0,339	-0,538	-0,372	1				
ADU	0,064	0,329	-0,839*	-0,111	0,656	1			
Daph	0,044	0,115	-0,457	0,152	0,625	0,172	1		
Daps	0,433	-0,203	-0,563	0,012	0,571	0,391	0,865*	1	
CTR	-0,075	0,195	-0,486	-0,098	0,847*	0,355	0,892*	0,798	1

* $p \leq 0,01$ ** $p \leq 0,05$

Pilha Revirada

	EPT	Dr	CA	AFU	AR	ADU	Daph	Daps	CTR
ETP	1								
Dr	-0,732	1							
CA	0,801	-0,382	1						
AFU	-0,870*	0,587	-0,911*	1					
AR	-0,527	0	-0,832*	0,806	1				
ADU	-0,668	0,328	-0,898*	0,676	0,564	1			
Daph	-0,422	-0,211	-0,667	0,632	0,920**	0,401	1		
Daps	-0,732	0,107	-0,848*	0,785	0,861*	0,667	0,901*	1	
CTR	0,468	-0,548	0,178	-0,100	0,339	-0,439	0,308	-0,092	1

* $p \leq 0,01$ ** $p \leq 0,05$

Anexo 4: Correlação entre o volume das pilhas e as propriedades físicas dos compostos

	EPT	Dr	CA	AFU	AR	ADU	Daph	Daps	Ctr
Volume PV	0,849*	- 0,975**	0,548	- 0,528	- 0,399	- 0,298	- 0,319	- 0,022	- 0,350
Volume PR	0,735	- 0,955**	0,273	- 0,528	0,031	- 0,157	0,180	- 0,114	0,473

Na mesma coluna, os valores das médias apresentam diferenças significativas para: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

Anexo 5 – Análise estatística para as variáveis físico-químicas, químicas, microbiológicas e temperatura

5.1. Comparação das médias das variáveis físico-químicas e químicas, em PV e PR, ao longo da compostagem

Variável	Média	
	PV	PR
Azoto Kjeldhal	1,34	1,33
Relação C/N	41,9	41,2
pH	5,63	5,45
CE	1,18	1,31
M.O.	90,2	90,3
M.M.	9,85	9,66
M.S.	48,9	49,6
Humidade	51,1	50,4

Para cada linha, os valores das médias apresentam diferenças significativas para: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

5.2. Comparação da média das temperaturas nas pilhas de compostagem ao longo do processo

Pilha	Média (lateral e central)
PV	40,8
PR	40,3

Para cada coluna, os valores das médias apresentam diferenças significativas para: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

5.3. Comparação da média das temperaturas, na parte lateral e central, das pilhas de compostagem ao longo do processo

Pilha	Média	
	Lateral	Central
PV	41,4*	40,2
PR	40,4*	40,3

Para cada coluna, os valores das médias apresentam diferenças significativas para: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

5.4. Média das temperaturas registadas no momento da colheita, comparadas com as temperaturas registadas pelas sondas

	Temperatura (°C)
PV – colheita	40,3a
PR – colheita	44,3a
PV – central	43,3a
PR – central	43,1a
PV – lateral	41,2a
PR – central	42,1a

Separação de médias pelo teste de Duncan. Os valores seguidos da mesma letra, não apresentam diferenças estatísticas, para $p \leq 0,05$.

5.5. Comparação das médias das variáveis microbiológicas, em PV e PR, ao longo da compostagem

Variável	Média	
	PV	PR
Fungos 25 °C	$3,25 \times 10^5$	$3,54 \times 10^8$
Fungos 55 °C	$2,4 \times 10^5$	$2,2 \times 10^5$
Bactérias heterotróficas 25 °C	$4,51 \times 10^7$ *	$2,82 \times 10^8$ *
Bactérias heterotróficas 55 °C	$3,71 \times 10^8$	$6,66 \times 10^8$
Actinomicetes 25 °C	$2,99 \times 10^7$	$3,24 \times 10^8$
Actinomicetes 55 °C	$1,75 \times 10^8$ *	$4,81 \times 10^8$ *

Para cada linha, os valores das médias apresentam diferenças significativas para: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

Anexo 8: Características do substrato comercial

Ganulometria (mm)	79,0 % (> 1mm)
Dr	1,51
Daph	0,738
Daps	0,122
EPT (%)	91,9
CTR (%)	51,5
CA (%)	21,2
AFU (%)	28,0
ADU (%)	40,0
AR (%)	2,8
MO (%)	91,6
MM (%)	8,4
Azoto – Kjeldhal (%)	1,14
P (g / kg)	0,123
K (g / kg)	1,15
Ca (g / kg)	8,6
Mg (g / kg)	1,35
Fe (g / 100g)	0,169
Relação C/N	46,5
pH	5,44
CE (dS m ⁻¹)	0,20
MS (%)	25,2
IG (%)	56

Anexo 6 – Correlação entre as variáveis físico-químicas, químicas e microbiológicas da pilha ventilada

	Temperatura	Azoto	C/N	pH	CE	MO	MS	Fungos 25 °C	Fungos 55 °C	Mesófilos 25 °C	Mesófilos 55 °C	Actinomicetes 25 °C	Actinomicetes 55 °C
Temperatura	1												
Azoto	-0,307	1											
C/N	0,167	- 0,967**	1										
pH	0,118	0,688**	- 0,818**	1									
CE	0,022	- 0,650**	0,691**	- 0,829**	1								
MO	0,082	- 0,719**	0,733**	- 0,753**	0,758**	1							
MS	0,407*	0,067	-0,152	0,364	-0,037	-0,135	1						
Fungos 25 °C	-0,181	0,383	-0,269	-0,187	0,169	0,171	- 0,121	1					
Fungos 55 °C	0,242	-0,213	0,168	-0,140	0,324	0,100	0,050	-0,045	1				
Mesófilos 25 °C	-0,493**	0,293	-0,293	0,256	-0,136	-0,287	0,106	-0,082	-0,096	1			
Mesófilos 55 °C	-0,430*	0,334	-0,353	0,364	-0,255	-0,324	0,101	-0,112	-0,058	0,951**	1		
Actinomicetes 25 °C	-0,351	0,541**	- 0,511**	0,374	-0,440*	- 0,650**	0,083	-0,079	-0,109	0,447*	0,419*	1	
Actinomicetes 55 °C	-0,369	0,631**	- 0,601**	0,521**	- 0,530**	- 0,695**	0,142	-0,127	-0,097	0,656**	0,713**	0,833**	1

* $p \leq 0,01$

** $p \leq 0,05$

Anexo 7 - Correlação entre as variáveis físico-químicas, químicas e microbiológicas da pilha revirada

	Temperatura	Azoto	C/N	pH	CE	MO	MS	Fungos 25 °C	Fungos 55 °C	Mesófilos 25 °C	Mesófilos 55 °C	Actinomicetes 25 °C	Actinomicetes 55 °C
Temperatura	1												
Azoto	-0,106	1											
C/N	-0,034	-0,779**	1										
pH	0,405*	0,785**	-0,671**	1									
CE	-0,134	-0,809**	0,642**	-0,819**	1								
MO	0,024	-0,888**	0,734**	-0,767**	0,804**	1							
MS	0,590**	0,089	-0,233	0,431*	-0,105	-0,109	1						
Fungos 25 °C	-0,180	0,069	-0,066	-0,186	0,129	0,014	-0,207	1					
Fungos 55 °C	0,046	-0,229	0,242	-0,126	0,148	0,085	0,035	0,018	1				
Mesófilos 25 °C	0,356	0,206	-0,181	0,352	-0,279	-0,119	0,169	-0,049	0,031	1			
Mesófilos 55 °C	0,156	0,201	-0,154	0,297	-0,259	-0,238	0,084	-0,076	-0,103	0,471	1		
Actinomicetes 25 °C	0,267	0,201	-0,179	0,289	-0,259	-0,086	0,104	-0,044	0,071	0,805**	-0,022	1	
Actinomicetes 55 °C	0,037	0,058	-0,034	0,257	-0,104	-0,119	0,241	-0,095	-0,076	-0,054	0,370	-0,044	1

* $p \leq 0,01$

** $p \leq 0,05$