



## **Compostagem Doméstica de Resíduos Urbanos em Instituições de Ensino Superior**

**ANA LÚCIA CRAVEIRO DE FARIA PEREIRA**  
(Licenciada em Biologia)

Trabalho de Projeto para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia da Qualidade e Ambiente

Orientador (es):

Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos  
Doutora Maria Alexandra Sousa Rodrigues

Júri:

Presidente: Doutora Isabel Maria da Silva João

Vogais:

Doutora Célia Maria Dias Ferreira  
Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos



# **Compostagem Doméstica de Resíduos Urbanos em Instituições de Ensino Superior**

**ANA LÚCIA CRAVEIRO DE FARIA PEREIRA**  
(Licenciada em Biologia)

Trabalho de Projeto para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia da Qualidade e Ambiente

**Orientadores:**

Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos, ISEL-IPL  
Doutora Maria Alexandra Sousa Rodrigues, ISEL

**Júri:**

Presidente: Doutora Isabel Maria da Silva João, ISEL-IPL  
Vogais:

Doutora Célia Maria Dias Ferreira, U. ABERTA  
Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos, ISEL-IPL

## **Agradecimentos**

Agradeço à Prof. Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos (ISEL) e à Prof. Doutora Maria Alexandra Sousa Rodrigues (ISEL) toda a disponibilidade, dedicação, motivação e transmissão de conhecimentos para a elaboração deste trabalho.

Ao meu filho, Henrique, que não só me motivou a lutar por algo maior, mas também me acompanhou em parte do trajeto.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional, por sempre acreditarem em mim e me incentivarem a lutar pelos meus objetivos, por me transmitirem que nada está fora de alcance, se dermos o nosso melhor, por estarem sempre presentes e me encorajarem.

Ao meu companheiro, Gonçalo Oliveira, pelo apoio enquanto eu desenvolvia o trabalho prático no ISEL e pelo apoio e participação nas fotografias que tornaram a apresentação do meu trabalho mais apelativo e aos meus sogros por todo o apoio e dedicação.

Agradeço aos meus colegas e funcionários do ISEL que participaram e auxiliaram o desenvolvimento deste projeto, quer na alimentação dos compostores quer no desenvolvimento do projeto em laboratório. Em particular à minha colega e amiga Patrícia Pereira que durante todo o trajeto académico estabeleceu comigo um trabalho em equipa o que motivou e encorajou a conclusão do mesmo e ao colega estagiário Frederico pelo esforço e dedicação no desenvolvimento da componente prática do projeto.

A toda a minha família, que sempre representou a base da minha estabilidade e me impulsionou a lutar pelo meu desenvolvimento pessoal.

Obrigada

## Declaração de integridade

Declaro que este trabalho de projeto é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes listadas nas referências bibliográficas foram consultadas e estão devidamente mencionadas no texto. Mais declaro que todas as referências científicas e técnicas relevantes para o desenvolvimento do trabalho estão devidamente citadas e constam das referências bibliográficas.

O autor

Assinado por: **Ana Lúcia Craveiro de Faria Pereira**  
Num. de Identificação: 13890150  
Data: 2024.09.28 17:38:50+01'00'

Lisboa, 30 de setembro de 2024

# Compostagem Doméstica de Resíduos Urbanos em Instituições de Ensino Superior

## Resumo

A compostagem representa uma alternativa viável no tratamento e valorização de resíduos urbanos. A variabilidade de matérias-primas utilizadas na sua produção têm influência no valor associado ao produto final. O objetivo deste trabalho foi avaliar a implementação da compostagem de resíduos urbanos em instituições de ensino superior, nomeadamente no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL). Foram realizadas ações de sensibilização junto da comunidade académica, incluindo a aplicação de um inquérito para avaliar o nível de conhecimento, preocupação e envolvimento em relação às questões ambientais e práticas de compostagem. Os resultados revelam que, apesar de 84% dos inquiridos se declararem preocupados com as alterações climáticas, apenas 4,5% estão ativamente envolvidos em ações de combate a esse problema. No entanto, a maioria (81,8%) já pratica a separação de resíduos para reciclagem e 22,7% fazem a separação de biorresíduos. Quanto à implementação prática da compostagem no campus, foram instalados oito compostores em diferentes locais, sendo acompanhados diversos parâmetros como temperatura, humidade, pH e teor de sólidos totais e voláteis. Os resultados demonstraram variações significativas na altura da pilha, humidade, temperatura, pH e sólidos totais. Nenhum compostor alcançou a fase termófila, com temperaturas máximas registadas de 40°C, e o pH variou entre 4 a 9. O Comp6 destacou-se pelos melhores valores de pH, Sólidos Totais e Sólidos Voláteis evidenciando uma decomposição ativa ao longo do ensaio, enquanto o Comp1 e Comp8 mantiveram uma maior estabilidade ao longo do processo. A presença de contaminantes, especialmente no Comp6, sublinha a necessidade de estratégias específicas de gestão de resíduos, considerando o tipo de resíduos, frequência de deposição e envolvimento comunitário. Os resultados evidenciam que a compostagem doméstica no ISEL é viável e apresenta benefícios ambientais, sociais e educacionais, recomendando a sua adoção como parte integrante da estratégia de sustentabilidade da instituição.

**Palavras-chave:** Compostagem Doméstica, Biorresíduos, Composto, Eco-escolas; Sustentabilidade



# Higher Education Institutions Home Composting of Municipal Waste

## Abstract

Composting represents a viable option in the treatment and recovery of municipal waste. The diversity of raw materials used in its production influences the value associated with the final product. The objective of this work was to evaluate the implementation of urban waste composting in higher education institutions, particularly at the Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL). Awareness-raising actions were carried out with the academic community, including the application of a survey to assess the level of knowledge, concern, and involvement regarding environmental issues and composting practices. The results reveal that, although 84% of respondents declared themselves concerned about climate change, only 4.5% are actively involved in actions to combat this problem. However, the majority (81.8%) already practice waste separation for recycling, and 22.7% separate biowaste. Regarding the practical implementation of composting on campus, eight composters were installed in different locations, and various parameters such as temperature, humidity, pH, and total and volatile solids content were monitored. Results demonstrated significant variations in pile height, humidity, temperature, pH, and total solids. No composter reached the thermophilic phase, with maximum temperatures of 40°C, and pH oscillating between 4 and 9. Comp6 stood out for the best pH, Total Solids, and Volatile Solids values, demonstrating an active decomposition throughout the experiment, while Comp1 and Comp8 maintained greater stability throughout the process. The presence of contaminants, especially in Comp6, underscores the need for specific waste management strategies, considering waste type, deposition frequency, and community involvement. The findings evidence that domestic composting at ISEL is feasible and presents environmental, social, and educational benefits, recommending its adoption as an integral part of the institution's sustainability strategy.

**Keywords:** Domestic Composting, Biowaste, Compost, Eco-Schools, Sustainability



## Lista de símbolos e de siglas

<b>Sigla/Abreviatura</b>	<b>Descrição</b>
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
AEA	Agência Europeia do Ambiente
COMP	Compostor
ENCDA	Estratégia Nacional de Combate ao Desperdício Alimentar
FEE	Foundation for Environmental Education
GEE	Gases de Efeito Estufa
IDI&CA	Concurso de Investigação, Desenvolvimento, Inovação e Criação Artística
IES	Instituições de Ensino Superior
IPL	Instituto Politécnico de Lisboa
ISEL	Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
MO	Matéria Orgânica
PACDA	Plano de Ação de Combate ao Desperdício Alimentar
PAYT	Pay as You Thow
PERSU	Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos
PNGR	Plano Nacional de Gestão de Resíduos
RARU	Relatório Anual de Resíduos Urbanos

RU	Resíduos Urbanos
RUB	Resíduos Urbanos Biodegradáveis
SF	Sólidos Fixos
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
UE	União Europeia

# Índice

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>I</b>
<b>Declaração de integridade</b> .....	<b>II</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>III</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>V</b>
<b>Lista de símbolos e de siglas</b> .....	<b>VII</b>
<b>1 Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1 Enquadramento do tema .....	1
1.2 Objetivo.....	4
1.3 Estrutura e Publicações .....	5
<b>2 Resíduos Urbanos</b> .....	<b>7</b>
2.1 Produção de Resíduos Urbanos em Portugal.....	7
2.2 Produção de Biorresíduos em Portugal .....	8
2.3 Políticas de Gestão de Resíduos em Portugal e posicionamento face às metas .....	12
<b>3 Compostagem</b> .....	<b>15</b>
3.1 Objetivos, Vantagens e Desvantagens .....	15
3.2 Fases da Compostagem.....	17
3.3 Parâmetros do processo de compostagem .....	21
3.3.1 Razão C/N.....	21
3.3.2 Humidade.....	21
3.3.3 Arejamento.....	24
3.3.4 Granulometria .....	25
3.3.5 Temperatura.....	25
3.3.6 pH.....	27
3.3.7 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis .....	28
<b>4 Compostagem Doméstica</b> .....	<b>30</b>
4.1 Compostagem na Europa .....	30
4.2 Compostagem em Portugal .....	32
4.3 Compostagem em Instituições do Ensino Superior .....	34
4.4 Tipos de Compostores.....	36

<b>5</b>	<b>Caso de Estudo: Compostagem Doméstica no ISEL</b>	<b>39</b>
5.1	Sustentabilidade no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa na área dos biorresíduos	39
5.2	Origem dos Biorresíduos	40
5.3	Implementação da compostagem no ISEL	41
<b>6</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>46</b>
6.1	Materiais	46
6.1.1	Compostores Domésticos	46
6.1.2	Amostragem, Acompanhamento do Processo de Compostagem e Análises Físico-Químicas	48
6.2	Métodos	50
6.2.1	Instalação de compostores e implementação da compostagem no ISEL	50
6.2.2	Processo de compostagem	51
6.2.2.1	Descrição do processo	51
6.2.2.2	Amostragem	52
6.2.2.3	Humidade	54
6.2.2.4	Contaminantes e pragas	55
6.2.2.5	Determinação da temperatura	55
6.2.2.6	Determinação do pH	56
6.2.2.7	Determinação de ST, SV e SF	57
6.2.3	Inquérito sobre a compostagem	60
<b>7</b>	<b>Apresentação e Discussão de Resultados</b>	<b>62</b>
7.1	Respostas do inquérito à comunidade do ISEL	62
7.2	Ensaio de compostagem	68
7.2.1	Altura da pilha de Compostagem	68
7.2.2	Humidade	71
7.2.3	Temperatura	75
7.2.4	Determinação de pH	78
7.2.5	Sólidos totais, voláteis e fixos	82
7.2.6	Contaminantes, Pragas e Odores	85
<b>8</b>	<b>Conclusões e Perspetivas de Trabalhos Futuros</b>	<b>88</b>
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>93</b>

<b>Anexos.....</b>	<b>102</b>
<b>Anexo I – Resumo e Comunicação oral na 1st International Conference of FEE EcoCampus, Escola Superior de Educação de Lisboa / IPL, Lisboa, 2024 .....</b>	<b>103</b>
<b>Anexo III – Resumo e comunicação em painel na conferência 9th International Conference on Sustainable Solid Waste Management Corfu, Greece .....</b>	<b>110</b>
<b>Anexo IV - Comunicação oral na 4ª conferência CAMPUS Sustentável no Instituto Politécnico de Leiria .....</b>	<b>111</b>
<b>Anexo V - Comunicação oral no evento Semana Green Week do programa ISELEcoescolas .....</b>	<b>119</b>
<b>Anexo VI - Manual de compostagem doméstica.....</b>	<b>124</b>
<b>Anexo VII - Póster de sensibilização para a prática de compostagem .....</b>	<b>125</b>
<b>Anexo VIII – Inquérito sobre Compostagem Doméstica “Compostagem no ISEL: Não desperdice esta ideia” .....</b>	<b>126</b>



# Índice de Figuras

Figura 2.1 – Produção e captação de RU em Portugal Continental de 2019 a 2023 .....	7
Figura 2.2 – Tratamento e destino final de RU em Portugal Continental.....	8
Figura 2.3 – Composição dos RU em Portugal Continental, em 2023.....	8
Figura 2.4 - Caracterização física da recolha indiferenciada dos RU, em Portugal Continental, em 2023.....	9
Figura 2.5 – Caracterização física dos RU de recolha seletiva e outras recolhas, em Portugal Continental, em 2023.....	10
Figura 2.6 – Caracterização física da recolha seletiva de biorresíduos, em Portugal Continental, em 2023.....	11
Figura 4.1- Compostores domésticos de: a) ripas de madeira; b) plástico, c) cimento.....	36
Figura 4.2- Compostores domésticos: a) tambor rotativo; b) para vermicompostagem; c) de Bokashi .....	38
Figura 5.1-Poster sobre compostagem no ISEL.....	41
Figura 5.2-Composto retirado dos compostores para determinação de parâmetros físico-químicos.....	42
Figura 5.3-Presença de contaminantes no Comp4 (saco de plástico).....	42
Figura 5.4-Pilha de compostagem do CComp4 a) após 12 semanas de compostagem; b)16 semanas; c) 20 semanas.....	43
Figura 5.5-Camadas da pilha de compostagem no Comp1 no ensaio 2 após 20 semanas de compostagem.....	44
Figura 5.6-Aplicação de composto nos espaços verdes do ISEL: a) Esvaziamento do compostor; b) Recolha do composto; c) Aplicação do composto em hortenses do jardim do ISEL .....	45
Figura 5.7-Mapa ISEL com localização dos compostores .....	45
Figura 6.1-Disposição dos compostores (setas a amarelo) no campus do ISEL	46
Figura 6.2-Compostores domésticos instalados no ISEL com capacidade de: a) 380 L e b) 480 L .....	47
Figura 6.3-Pás utilizadas para acompanhamento do processo de compostagem: a) Pá para revolvimento pilha de compostagem; b) Pá para recolha de amostras.....	48
Figura 6.4-Amostragem pelo método dos Quartis.....	53
Figura 6.5-Determinação da altura da pilha de resíduos.....	54
Figura 6.6-Exemplo de contaminantes nos compostores.....	55
Figura 6.7-Pontos de medição de temperatura no compostor.....	56
Figura 6.8-Medição da temperatura no compostor.....	56

Figura 6.9-Agitador eletromagnético para mistura das amostras de resíduos com água destilada .....	57
Figura 6.10-Medidor de pH .....	57
Figura 6.11-Balança para pesagem de resíduos .....	58
Figura 6.12-Banho termostatizado para a determinação de sólidos.....	59
Figura 6.13-Mufla para determinação de sólidos (Ignição de amostra de resíduo na mufla a 550°C).....	59
Figura 6.14-Exsicador para arrefecimento de resíduos.....	59
Figura 6.15-Código QR para acesso e participação ao Inquérito Compostagem no ISEL.....	61
Figura 7.1-Respostas à pergunta 1 do Inquérito Compostagem no ISEL.....	62
Figura 7.2-Respostas à pergunta 2 do Inquérito Compostagem no ISEL.....	63
Figura 7.3-Respostas à pergunta nº 4 do Inquérito Compostagem no ISEL .....	63
Figura 7.4-Respostas à pergunta nº 5 do Inquérito Compostagem no ISEL .....	64
Figura 7.5-Respostas à pergunta nº 6 do Inquérito Compostagem no ISEL .....	64
Figura 7.6-Respostas à pergunta nº 7 do Inquérito Compostagem no ISEL .....	65
Figura 7.7-Respostas à pergunta nº 8 do Inquérito Compostagem no ISEL .....	65
Figura 7.8-Respostas à pergunta nº 9 do Inquérito Compostagem no ISEL .....	66
Figura 7.9-Respostas à pergunta nº 10 do Inquérito Compostagem no ISEL ....	66
Figura 7.10-Respostas à pergunta nº 11 do Inquérito Compostagem no ISEL...	67
Figura 7.11-Respostas à pergunta nº 12 do Inquérito Compostagem no ISEL...	67
Figura 7.12-Pilha de compostagem no Comp4, durante o ensaio 2 com caules e raízes.....	71
Figura 7.13 - Escorrência de lixiviado no Comp6 resultante de teor de humidade excessiva.....	75
Figura 7.14-Temperatura máxima registada no dia 88 no ensaio 1 .....	76
Figura 7.15-Temperatura máxima registada no dia 103 no ensaio 1.....	76
Figura 7.16-Temperatura máxima registada ao longo do ensaio de compostagem nº 2.....	77
Figura 7.17-Temperatura média registada nos compostores ao longo do ensaio de compostagem nº 2.....	77
Figura 7.18-pH registado no dia 88 do ensaio 1 .....	79
Figura 7.19-Variação de pH no Comp1 no ensaio 1 .....	79
Figura 7.20-Variação de pH no Comp8 no ensaio1 .....	80
Figura 7.21-Variação de pH ao longo do ensaio 2 de compostagem .....	80
Figura 7.22-Percentagem de ST, STV, STF no dia 103 para os diferentes compostores no ensaio 1 .....	82
Figura 7.23-Percentagem de ST, STV e STF do Comp1 do ensaio1 .....	82

Figura 7.24-Percentagem de ST, STV e STF do Comp8 do ensaio1 .....	83
Figura 7.25-Percentagem de ST, STV e STF do Comp7 do ensaio1 .....	83
Figura 7.26-Percentagem de sólidos totais ao longo do ensaio 2 de compostagem .....	84
Figura 7.27-Percentagem de sólidos totais voláteis ao longo do ensaio 2 de compostagem .....	84
Figura 7.28-Contaminantes nos ensaios de compostagem: a) plásticos no Comp3 no ensaio 1; b) invólucro de produto perigoso para o ambiente no ensaio 1; c) plásticos no Comp6 no ensaio 2; d) papel plastificado e carne no Comp6 no ensaio 2.....	86



## Índice de tabelas

Tabela 3.1 - Grau de humidade adequado para a compostagem diferentes tipos de resíduos.....	23
Tabela 6.1 - Materiais para manutenção da compostagem.....	48
Tabela 6.2- Materiais para monitorização do processo de compostagem.....	49
Tabela 6.3-Localização dos compostores no campus do ISEL .....	51
Tabela 7.1-Altura da pilha de compostagem ao longo do tempo nos Comp1, Comp3, Comp5, Comp7 e Comp8 no ensaio 1.....	70
Tabela 7.2-Altura da pilha de compostagem ao longo do tempo nos compostores Comp1, Comp4 e Comp6 no ensaio 2.....	71
Tabela 7.3-Teor de humidade ao longo do tempo no ensaio 1 nos Comp1; Comp3; Comp5; Comp7; Comp8.....	72
Tabela 7.4- Teor de humidade ao longo do tempo no ensaio 2 nos Comp1; Comp4; Comp6 .....	74
Tabela 7.5- pH de amostras individuais de resíduos.....	81

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento do tema

As atividades socioeconómicas geram, inevitavelmente, impacto na saúde humana e no ambiente. Isto deve-se tanto ao impacte ambiental associado ao consumo de recursos com depleção de recursos naturais, como à gestão dos resíduos produzidos, que inclui a recolha, transporte, tratamento/valorização e eliminação dos mesmos, com poluição da água, do solo e do ar, a uma escala local, bem como a emissão de gases, com efeito de estufa, a uma escala global, e ainda problemas de saúde pública adjacentes (APA, 2023a).

Os resíduos urbanos (RU) são definidos como o resíduo resultante da recolha indiferenciada e de recolha seletiva das habitações e ainda da recolha indiferenciada e de recolha seletiva provenientes de outras origens, caso sejam semelhantes aos resíduos das habitações na sua natureza e composição (Decreto-Lei n.º 102-D/2020). Em Portugal, os RU têm uma constituição bastante diversa. Entre as frações que os compõem, os biorresíduos representam cerca de 38% o que demonstra a sua relevância numa correta gestão de RU (APA, 2023b).

Os resíduos urbanos biodegradáveis (RUB), ou biorresíduos, são definidos como “resíduos biodegradáveis de jardins e parques, resíduos alimentares e de cozinha de residências, escritórios, restaurantes, grossistas, cantinas, unidades de restauração e retalho e resíduos semelhantes de fábricas de processamento de alimentos” (Decreto-Lei n.º 102-D/ 2020).

Tendo em conta as políticas atuais da União Europeia, no que diz respeito à gestão de resíduos, assim como os objetivos delineados por Portugal, alinhados com as metas europeias no estabelecimento de iniciativas de combate à economia linear e de promoção de uma economia circular, a compostagem surge como uma opção sustentável no que concerne ao combate da problemática de resíduos.

A compostagem é um processo biológico que ocorre em condições aeróbias, consistindo na transformação de biorresíduos em composto. Neste processo biológico é importante ter condições adequadas de temperatura, humidade e oxigénio assim como um correto balanço de nutrientes (Azim *et al.*, 2018).

O Decreto-Lei 102-D/2020 define o âmbito da responsabilidade de produção e tratamento de biorresíduos, estipulando objetivos para as respetivas entidades em território português, nomeadamente, para os biorresíduos provenientes de atividades da restauração e indústria. Neste Decreto-Lei estabelecia-se ainda a obrigatoriedade de implementação de medidas que visassem a separação de biorresíduos na origem até:

- 31 de dezembro de 2022, no caso de entidades que produzissem mais de 25 t/ano de biorresíduos;
- 31 de dezembro de 2023, nos restantes casos.

A responsabilidade pela correta gestão de RU estende-se aos estabelecimentos de comércio a retalho, serviços e restauração, unidades de prestação de cuidados de saúde, empreendimentos turísticos, e ainda, estabelecimentos escolares, ou outras origens cujos resíduos sejam semelhantes em termos de natureza e composição aos das habitações, e sejam provenientes de um único estabelecimento que produza menos de 1 100 L de resíduos por dia (Decreto-Lei n.º 102-D/ 2020).

Nesta senda, surge a pertinência da extensão de um correto planeamento no que concerne à gestão dos resíduos produzidos aos estabelecimentos escolares, com contextos e intervenientes específicos.

As Instituições de Ensino Superior (IES) desempenham um papel fundamental na formação de futuros líderes e na promoção da consciencialização ambiental. A compostagem doméstica, quando implementada nas IES, contribui, por um lado, para a gestão sustentável de resíduos, dando resposta às imposições legais, mas também oferece oportunidades valiosas no que concerne à educação ambiental e ao envolvimento da comunidade académica.

O presente trabalho recaiu sobre a análise da viabilidade de realização de compostagem doméstica em IES, utilizando como matéria-prima biorresíduos provenientes das próprias instituições, tanto da limpeza dos seus espaços verdes, como também dos resíduos alimentares produzidos nas unidades de restauração nos *campi*.

## 1.2 Objetivo

O objetivo do presente trabalho consiste em avaliar a implementação da compostagem em IES, utilizando, como caso de estudo, o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Para a prossecução deste objetivo, estabeleceram-se as seguintes etapas:

- Estabelecer mecanismos abrangentes que envolvam toda a comunidade através da realização de ações coordenadas como ações de sensibilização/formação (ex. workshops), afixação de cartazes informativos em locais estratégicos, elaboração de manual sobre a compostagem e campanhas de sensibilização frequentes;
- criar alternativas ao encaminhamento dos biorresíduos produzidos nas IES para aterro, através da reciclagem no próprio local da produção;
- avaliar o processo de compostagem ao longo do tempo, determinando parâmetros que permitam caracterizar os resíduos produzidos, a pilha de compostagem, bem como o composto produzido;
- identificar potenciais aplicações para o composto dentro do campus, contribuindo, em paralelo, para a educação ambiental e para a economia circular.

### 1.3 Estrutura e Publicações

O presente trabalho está estruturado em oito capítulos que se subdividem em subcapítulos.

No primeiro capítulo, a introdução, aborda-se o enquadramento do tema, os objetivos do trabalho e a sua estrutura geral.

No segundo capítulo, faz-se referência à problemática associada à produção de resíduos urbanos (RU) e biorresíduos em Portugal e apresenta-se o enquadramento legislativo a nível europeu e nacional.

No terceiro capítulo, indica-se o processo de compostagem, as suas fases e os fatores que o influenciam.

Já no quarto capítulo, apresentam-se modelos de compostagem doméstica na Europa, em Portugal e em IES.

No quinto capítulo, descreve-se um caso de estudo sobre a compostagem doméstica em IES, mais concretamente no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL).

O sexto capítulo descreve a metodologia experimental, incluindo os materiais utilizados, os locais de amostragem e monitorização, e os ensaios laboratoriais realizados.

No sétimo capítulo, apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos.

Por último, o oitavo capítulo, apresenta as conclusões do trabalho e propõe perspetivas para futuras investigações.

No âmbito do presente trabalho foram apresentadas três comunicações orais e duas comunicações em painel:

- comunicação oral (Anexo I), na 1st International Conference of FEE EcoCampus, Escola Superior de Educação de Lisboa / Instituto Politécnico de Lisboa, Lisboa, 2024;

- comunicação em painel (Anexo II), no Fórum de Engenharia Química e Biológica (FEQB), Lisboa, 2023;
- comunicação em painel (Anexo III) 9th International Conference on Sustainable Solid Waste Management, Corfu 2022, Grécia,
- comunicação oral (Anexo IV), na 4ª Conferência CAMPUS Sustentável, no Politécnico de Leiria, 2022;
- comunicação oral (Anexo V), no evento *Semana Green Week* do programa ISELEcoescolas, Lisboa (2022).

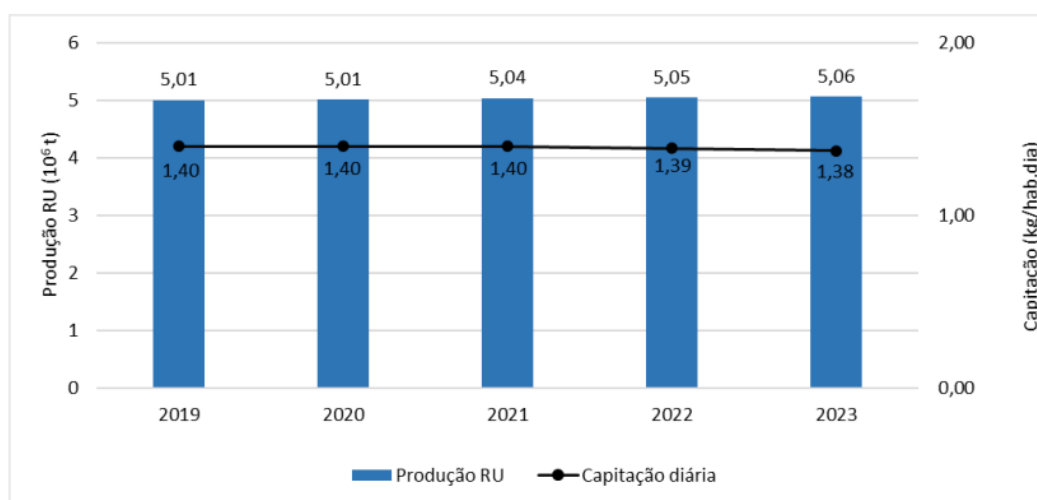
Também foram elaborados um manual de compostagem doméstica (Anexo VI) e um poster de sensibilização para a prática de compostagem (Anexo VII).

O presente trabalho foi realizado no âmbito do projeto IDICA project IPL/2022/BioCompost\_ISEL, tendo me permitido fazer parte da equipa de investigação do mesmo.

## 2 Resíduos Urbanos

### 2.1 Produção de Resíduos Urbanos em Portugal

Em 2023, em Portugal, foram produzidos 5 338 milhões de t de RU, verificando-se uma tendência crescente desde 2019 (Figura 2.1). Por outro lado, em Portugal Continental, nos últimos cinco anos, a produção de resíduos, por habitante, manteve-se constante na ordem dos 1,40 kg/(hab.d) (APA, 2024).



**Figura 2.1** – Produção e captação de RU em Portugal Continental de 2019 a 2023

(APA, 2024)

A produção de resíduos é responsável por um elevado contributo no que respeita às emissões de CH<sub>4</sub>, tendo representado 57% do total das emissões de metano a nível nacional, o que corresponde a 88% do total das emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE) do setor, em 2015 (Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019, de 1 de julho).

Uma segunda problemática associada à produção dos resíduos é o respetivo tratamento/eliminação. Em Portugal Continental, verifica-se que a deposição em aterro constitui, em 2023, cerca de 59% do total de RU (Figura 2.2) (APA, 2024).

A compostagem/digestão anaeróbia representa, em 2023, uma parcela com baixa significância (8%), comparativamente com a deposição em aterro (59%) e a reciclagem (14%) (Figura 2.2) (APA, 2024).

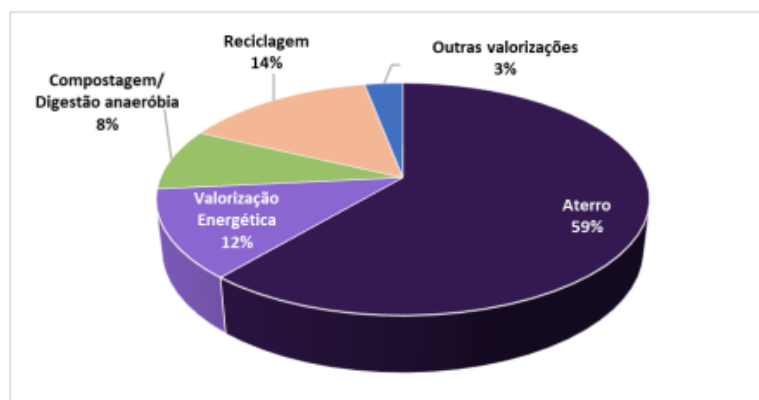


Figura 2.2 – Tratamento e destino final de RU em Portugal Continental

(APA, 2024)

## 2.2 Produção de Biorresíduos em Portugal

A gestão adequada dos biorresíduos é um desafio crucial para garantir a sustentabilidade da bioeconomia num futuro próximo, uma vez que esses resíduos representam aproximadamente 38% do total de RU em Portugal (Figura 2.3) (APA, 2024).

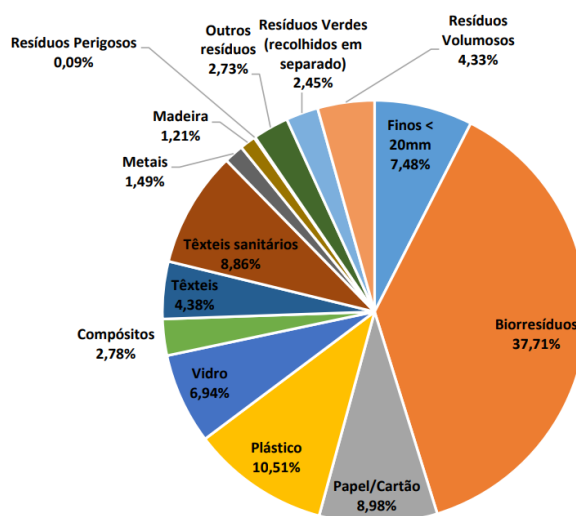


Figura 2.3 – Composição dos RU em Portugal Continental, em 2023

(APA, 2024)

De acordo com o publicado na Decisão 2014/955/UE, de 18 de dezembro, relativa à Lista de Resíduos, os seguintes códigos LER são considerados biorresíduos:

- LER 20 02 01: Inclui os resíduos biodegradáveis (de jardins e parques);
- LER 20 01 99: Remete para outras frações, sem outras especificações, onde se inclui borras e filtros de café e saquetas de chá;
- LER 20 01 08: Abrange os resíduos biodegradáveis provenientes de cozinhas e cantinas.

No que concerne à recolha indiferenciada de RU, os biorresíduos representam mais de 46% do seu total (Figura 2.4), enquanto, na recolha seletiva, são ainda uma parcela reduzida, totalizando apenas 8,2% dos RU recolhida (Figura 2.5) (APA, 2024).

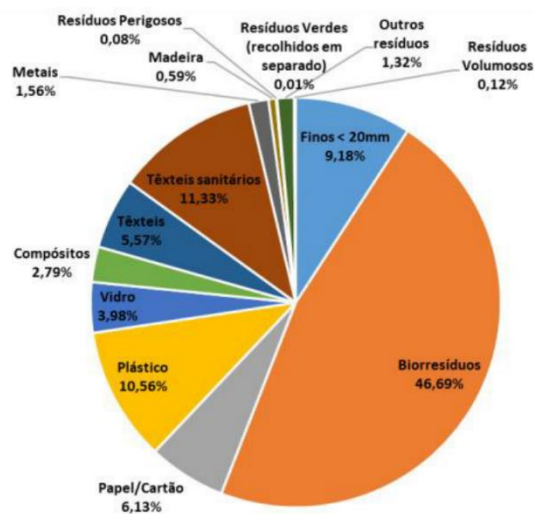


Figura 2.4 - Caracterização física da recolha indiferenciada dos RU, em Portugal Continental, em 2023

(APA, 2024)

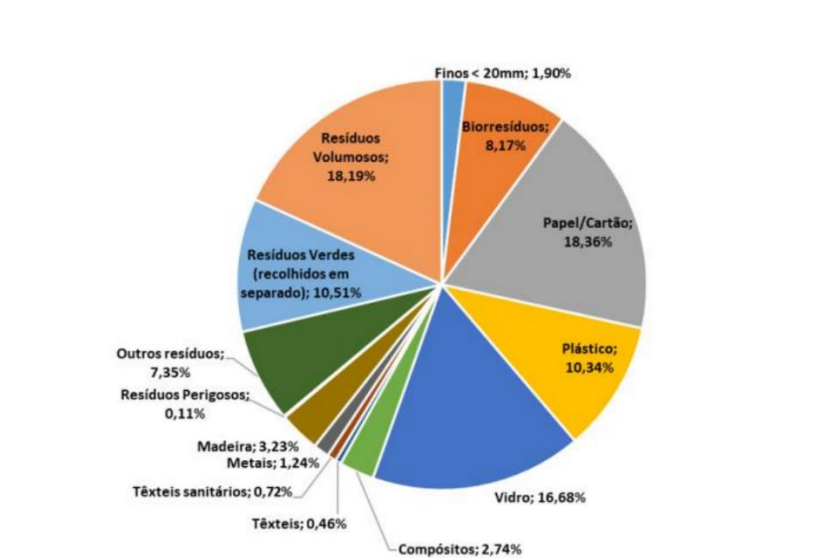


Figura 2.5 – Caracterização física dos RU de recolha seletiva e outras recolhas, em Portugal Continental, em 2023

(APA, 2024)

Os resultados anteriores evidenciam uma quantidade muito significativa de resíduos provenientes de recolha indiferenciada com potencial de serem encaminhados para a recolha seletiva (APA, 2024).

A recolha seletiva de biorresíduos, em particular, é uma atividade que começa a tornar-se significativa nalguns municípios e cuja caracterização física se divide maioritariamente em resíduos alimentares (restos de cozinha), 32% e de jardim, 55% (Figura 2.6). Esta tipologia de recolha apresenta, no entanto, níveis de contaminação de cerca de 9%, sendo os principais contaminantes materiais como o plástico e resíduos finos (dimensão inferior a 20 mm) (APA, 2024).

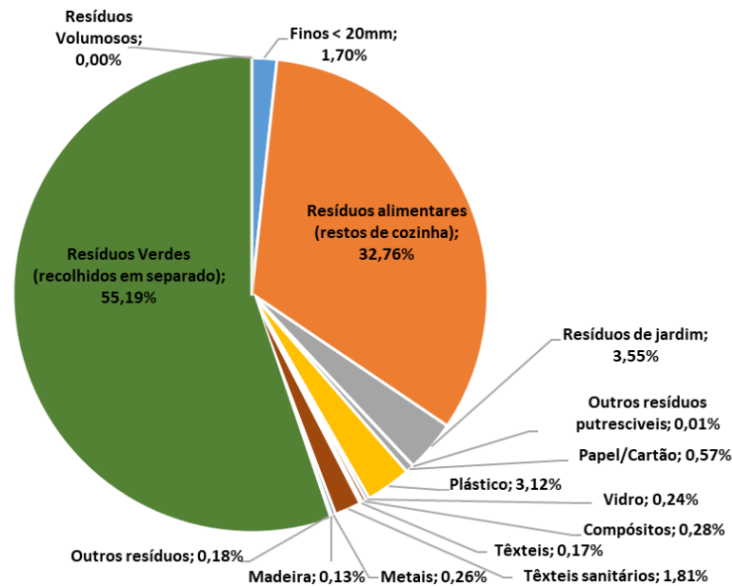


Figura 2.6 – Caracterização física da recolha seletiva de biorresíduos, em Portugal Continental, em 2023

(APA, 2024)

Estabelecer melhorias e inovações nos métodos de produção e no processamento de biorresíduos, pode contribuir para a transição global das sociedades dependentes de combustíveis fósseis e para uma economia independente do carbono (Scarlat, Dallemand, & Fahl, 2018).

Considerando esta premissa e os objetivos estabelecidos pela União Europeia, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) estabeleceu um plano denominado “Estratégia dos Biorresíduos” que visa fomentar alternativas à produção e ao encaminhamento dos biorresíduos, em direção a uma economia circular, e que tem os seguintes objetivos:

- “Estabelecer a transição para a recolha seletiva de biorresíduos e a utilização das capacidades de compostagem e digestão anaeróbia existentes, substituindo gradualmente a recolha indiferenciada.
- Promover a utilização do composto resultante da valorização dos biorresíduos.
- Incentivar a instalação de equipamentos que permitam a recuperação do biogás proveniente das instalações de digestão anaeróbia (APA, 2023b)”.

## 2.3 Políticas de Gestão de Resíduos em Portugal e posicionamento face às metas

Em Portugal começa a verificar-se uma crescente consciencialização quanto à procura de equilíbrios entre necessidades sociais e preservação do ambiente, procurando um crescimento económico sustentado, não só para a produção de um bem ou serviço, com conseqüente minimização dos impactes negativos que possam resultar da sua atividade, mas, sobretudo, para uma ação pró-ativa, empenhada no desenvolvimento socioeconómico e ambiental global, isto é, com uma contribuição de responsabilidade social efetiva.

De forma a contribuir para o estabelecimento de medidas que visem um crescimento económico sustentável, a política de gestão de resíduos a nível europeu, foca-se na prevenção e no aproveitamento de resíduos como recurso, dando continuidade ao ciclo de vida dos materiais e devolvendo materiais e energia à economia. Esta política procura efetuar uma gestão otimizada dos recursos, prevenindo a produção de resíduos e simultaneamente assegurar a gestão sustentável dos resíduos que não podem ser prevenidos, garantindo uma utilização eficiente dos recursos naturais e promovendo os princípios de uma economia circular (APA, 2023a).

Também o Pacto Ecológico Europeu estabelece uma estratégia de crescimento da União Europeia (UE), impulsionando a economia em direção a uma trajetória mais sustentável, eficiente no uso de recursos e mais competitiva. Para além disso, o pacto também pretende alcançar a neutralidade de carbono até 2050, garantindo ao mesmo tempo que essa transição seja ampla e inclusiva. Este pacto alinha-se com as políticas ambientais já existentes na Europa constituindo parte integrante da estratégia da Comissão Europeia (CE) para implementar a Agenda 2030 e alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (Resolução do Conselho de Ministros n.º 31/2023).

Em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, foram elaborados, a nível nacional, em 2017, a Estratégia Nacional de Combate ao Desperdício Alimentar (ENCDA) e o Plano de Ação de Combate ao Desperdício Alimentar (PACDA). Esses documentos identificam medidas para alcançar as

metas estabelecidas, principalmente em relação à redução do desperdício de alimentos (Resolução do Conselho de Ministros n.º 31/2023).

O Roteiro para a Neutralidade Carbónica em 2050 (RNC2050) identifica os principais setores que precisam ser descarbonizados e estima o potencial de redução de emissões, destacando o setor de resíduos.

Por outro lado, a nível nacional, destacam-se os planos de gestão de resíduos, que concretizam a política nacional relativamente a este tema, estabelecendo os objetivos de prevenção e aproveitamento dos resíduos como recurso, promovendo a utilização eficiente dos recursos naturais e a economia circular.

Atualmente, em Portugal, as orientações fundamentais da política de resíduos são dadas pelos seguintes instrumentos:

- Plano Nacional de Gestão de Resíduos (PNGR);
- Plano Estratégico para os RU (PERSU);
- Plano Estratégico para os Resíduos Não Urbanos (PERNU), que substitui os antigos planos setoriais para resíduos hospitalares e resíduos industriais;
- Estratégia para os Biorresíduos.

O desenvolvimento dos planos inclui um processo de participação pública para envolver ativamente os principais intervenientes e a população em geral (APA, 2024).

Relativamente ao posicionamento de Portugal face às metas estabelecidas para 2022, a produção de resíduos urbanos (RU), em Portugal Continental, totalizou 5,05 milhões de toneladas, representando um aumento de 0,7% em relação a 2021. Este volume corresponde a uma capitação anual de 507 kg/hab, ou aproximadamente 1,4 kg/(hab.d). Esses dados indicam uma estabilização na produção de RU desde 2019, revertendo a tendência de crescimento contínuo, observada desde 2014 (APA, 2024).

A transposição, em matéria legislativa, da regulamentação europeia é efetuada através dos Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro, alterado pela Lei

n.º 52/2021, de 10 de agosto; e pelos Decreto-Lei n.º 11/2023, de 10 de fevereiro; e Decreto-Lei n.º 24/2024, de 26 de março, que constitui o regime geral de gestão de resíduos.

A classificação dos resíduos é efetuada segundo a Lista Europeia de Resíduos (LER) publicada na Decisão 2014/955/EU.

Por outro lado, a limpeza urbana está intimamente relacionada com a problemática dos resíduos, especialmente no que concerne à higiene dos municípios e consequente saúde pública. Um dos principais problemas é a deposição de lixo em espaços públicos. A Diretiva (UE) 2018/851, prevê precisamente essa questão, destacando o impacto negativo do lixo no ambiente, no bem-estar dos cidadãos e na economia, bem como o custo desnecessário da sua limpeza para a sociedade.

Desta forma é importante que os Estados-Membros adotem medidas não apenas para mitigar o impacto da acumulação dos resíduos no ambiente, mas também para prevenir a sua produção por meio de campanhas de educação e consciencialização da população (Resolução do Conselho de Ministros n.º 31/2023).

## 3 Compostagem

### 3.1 Objetivos, Vantagens e Desvantagens

A compostagem é um processo que ocorre espontaneamente na natureza e destaca-se como uma abordagem ambientalmente responsável e sustentável para a gestão de biorresíduos.

Durante a compostagem, ocorre a decomposição controlada da matéria orgânica, nomeadamente restos de comida, folhas, cascas de frutas e legumes, pela ação de microrganismos, sob condições aeróbias, podendo ser otimizada com um maior controlo dos parâmetros que a influenciam. A transformação da matéria orgânica (MO), através da compostagem, resulta na mineralização e humificação parcial das substâncias presentes, com produção de um produto final estável, que pode ser usado como corretor ou aditivo agrícola, designado por composto (Azim *et al.*, 2018).

Do ponto de vista ambiental, a compostagem doméstica apresenta alguns benefícios potenciais, como o facto de evitar a recolha e o transporte de biorresíduos. Assim, pode-se afirmar que compostagem tem um efeito positivo na estrutura do solo, uma vez que aumenta a quantidade de MO presente, tornando-o mais coeso e estável, aumentando ainda a sua capacidade de infiltração de água e a retenção da mesma nas camadas mais interiores, reduzindo a quantidade de água superficial e, por sua vez, minimizando a erosão do solo, (Diacono e Montemurro, 2010). Além disso, os aumentos dos níveis de MO do solo contribuem para o sequestro de carbono, um processo essencial na mitigação das emissões de gases de efeito estufa (Favoio e Hogg, 2008) e para o aumento da disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas (Boldrin

*et al.*, 2009), podendo ainda auxiliar na supressão de doenças do solo (Bonanomi *et al.*, 2007).

No entanto, também apresenta algumas preocupações ambientais, principalmente devido à ausência de sistemas de tratamento de gases. Nos sistemas de compostagem doméstica, podem ser gerados gases com efeito de estufa (GEE) e emitidos para a atmosfera durante o processo, contribuindo assim para o aquecimento global (Colón *et al.*, 2012).

Alguns estudos mostram que, durante a compostagem doméstica, derivado da falta de arejamento adequado pode ocorrer a formação de condições anaeróbias, podendo originar poluentes como o metano, o amoníaco ou o óxido nitroso que são emitidos para a atmosfera (Amlinger *et al.*, 2008).

Outra problemática relaciona-se com a variedade de resíduos tratados pela compostagem. Os biorresíduos utilizados na compostagem são compostos principalmente por vegetais, frutas, restos de comida e resíduos de jardim. Entre estes, os dois últimos têm sido problemáticos devido à lentidão das taxas de decomposição, resultado da falta de nutrientes, ou ao estado físico. A carne, o peixe, as gorduras ou os óleos alimentares podem criar problemas como moscas, roedores e odores. Além disso, os resíduos de fruta decompõem-se rapidamente, produzindo ácidos orgânicos e quantidades significativas de lixiviados, que podem necessitar de ser misturados com materiais absorventes (resíduos secos) para obter as condições de compostagem adequadas (Chanakya *et al.*, 2007).

É crucial destacar que a compostagem não está isenta de desafios. Requer conhecimento e cuidados específicos, como o controlo da razão carbono/azoto (C/N), através da adição da proporção correta de resíduos castanhos (ricos em carbono) e de resíduos verdes (ricos em azoto), do pH, da variação de temperatura ao longo do processo, da estrutura química da MO, do teor de nutrientes, sais e metais pesados, que terão impacto nas taxas de degradação, da remoção de organismos patogénicos e das emissões de gases, bem como do arejamento adequado da pilha de resíduos e da humidade, que, por sua vez, influenciarão as propriedades e a qualidade do composto final (Hemidat, *et al.*, 2018).

## 3.2 Fases da Compostagem

O processo de compostagem passa por várias fases, onde cada uma é caracterizada pela atividade de diferentes grupos de microrganismos, entre eles, bactérias, fungos e protozoários, desempenhando um papel fundamental na transformação de biorresíduos em composto (Sharma *et al.*, 1997). De forma que este seja otimizado, deve ocorrer, previamente, uma fase de preparação dos biorresíduos que vão constituir a pilha de resíduos. Estes resíduos podem incluir restos de comida, folhas, cascas de frutas e legumes, entre outros. Os materiais são então triturados ou picados em pedaços menores para acelerar o processo de decomposição. Neste processo é importante alcançar uma proporção equilibrada de resíduos verdes e resíduos castanhos para garantir uma boa relação C/N, o que favorece a decomposição (Hemidat *et al.*, 2018).

Segundo Meena *et al.* (2021), o processo de compostagem pode ser dividido em três fases principais, tendo em conta as variações de temperatura, e ainda uma fase de maturação:

- fase mesófila;
- fase termófila;
- fase mesófila;
- fase de maturação.

A primeira fase da compostagem, denominada fase mesófila, que dura algumas horas após a formação da pilha de compostagem, é influenciada fortemente pelas características dos resíduos depositados. A temperatura dentro da pilha de compostagem parte da temperatura ambiente, até atingir uma média de aproximadamente 42°C, em algumas horas ou poucos dias (Abdalla *et al.*, 2014). A atividade metabólica de vários grupos de microrganismos, com utilização do azoto (N) e carbono (C) presentes na MO, para incorporação na sua estrutura celular, provoca o aumento da temperatura registado. A decomposição de compostos solúveis, como açúcares, produz ácidos orgânicos, o que pode fazer com que o pH diminua para cerca de 4,0 ou 4,5 (Meena *et al.*, 2021).

Quando a temperatura do material orgânico inicial ultrapassa os 45 °C, ocorre a substituição dos microrganismos mesófilos pelos microrganismos termófilos, incluindo bactérias, fungos e actinomicetas, principalmente das bactérias termófilas, que são capazes de prosperar em temperaturas mais elevadas (Azim *et al.*, 2018). A fase termófila é caracterizada por uma temperatura geralmente situada na faixa entre 45 e 68°C (Abdalla *et al.*, 2014) e pode durar vários dias a várias semanas, dependendo da natureza dos compostos de carbono presentes nos materiais em compostagem. Durante esta etapa, os fungos presentes que são tolerantes a elevadas temperaturas, isto é, os termófilos, estão ativamente envolvidos no processo de decomposição de materiais orgânicos complexos, como celulose e lenhina (Meena *et al.*, 2021).

Concomitantemente, o pH aumenta devido à degradação das proteínas e à libertação de amoníaco. À medida que a temperatura ultrapassa os 60°C, a taxa de degradação da matéria orgânica desacelera substancialmente, e, após atingir os 70°C, apenas as enzimas libertadas na fase anterior permanecem, contribuindo para o processo de degradação e criando condições termófilas ideais (entre 50°C e 65°C) para a degradação mais eficaz dos resíduos (Azim *et al.*, 2018).

A alta temperatura mantida na pilha de compostagem durante essa fase (acima de 55 °C) contribui significativamente para eliminar contaminantes e microrganismos de origem fecal, como *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, esporos de fungos fitopatogênicos e sementes de plantas daninhas, entre outros. Devido a esse processo de eliminação de organismos patogênicos e contaminantes, esta fase é muitas vezes identificada como a fase de higienização (Meena *et al.*, 2021).

Após a decomposição ativa e o esgotamento das fontes de carbono e azoto do material de compostagem, a temperatura da pilha começa a diminuir novamente, atingindo cerca de 40-45°C (Meena *et al.*, 2021). Esta fase pode durar alguns meses (Abdalla *et al.*, 2014). À medida que a temperatura desce abaixo dos 40°C, a atividade dos organismos mesófilos é retomada e o pH da pilha de compostagem diminui, embora, geralmente, permaneça ligeiramente alcalino (Meena *et al.*, 2021). Durante a fase mesófila, a degradação de polímeros, como a celulose continua, e alguns fungos visíveis a olho nu começam a aparecer. (Azim *et al.*, 2018).

Na fase de maturação, a temperatura da pilha de compostagem diminui para a gama da temperatura ambiente 20-30 °C (Meena *et al.*, 2021) e pode estender-se por vários meses (Abdalla *et al.*, 2014). Durante esta fase, ocorrem reações secundárias de polimerização e condensação, o que resulta na formação de húmus com ácidos húmicos, que são particularmente resistentes à degradação (El Fels *et al.*, 2014). O composto considera-se maturado quando (Azim *et al.*, 2018):

- não aquece mais após ser revolvido;
- não se torna anaeróbio durante o armazenamento;
- não remove azoto do solo após sua aplicação.

Nesta fase, uma parte do azoto das proteínas torna-se resistente à degradação microbiana, devido à sua incorporação em ácidos húmicos (Azim *et al.*, 2018).

É importante referir que a duração das diferentes fases da compostagem depende do tipo de matéria-prima e da eficiência do processo, que é controlada por vários fatores, como a humidade, a frequência do revolvimento da pilha, a técnica de compostagem utilizada e até do tipo de microrganismos colonizadores (Abdalla *et al.*, 2014).

Os microrganismos presentes nas matérias-primas para compostagem que realizam a degradação inicial começam a desintegrar rapidamente os componentes solúveis e de fácil degradação. Isso leva à produção de ácidos orgânicos, que causam uma diminuição inicial do pH, tornando-o ácido nos primeiros dias do processo de compostagem. Nestas condições ácidas, os fungos e as leveduras prosperam até que o processo de amonificação ocorra, elevando o pH e promovendo o crescimento bacteriano (Abdalla *et al.*, 2014).

É relevante destacar que as bactérias têm um tempo médio de reprodução mais curto em comparação com os fungos, o que as torna mais aptas a adaptarem-se a ambientes que mudam rapidamente. Como resultado, as bactérias desempenham um papel predominante na fase inicial de decomposição e, conseqüentemente, na geração de calor no composto (Ryckeboer *et al.*, 2003).

No final da compostagem, o composto está completamente maturado e pronto para utilização. A temperatura volta aos níveis ambiente e o composto adquire uma textura semelhante à do solo (Azim *et al.*, 2018). É importante deixar o

composto curar por algumas semanas antes de aplicá-lo no solo, para que qualquer calor residual ou substâncias fitotóxicas se dissipem.

### 3.3 Parâmetros do processo de compostagem

#### 3.3.1 Razão C/N

Os microrganismos decompositores, tais como bactérias ou fungos, são os principais protagonistas no processo de compostagem (Abdalla *et al.*, 2014), requerendo carbono como fonte de energia, componente elementar para a estrutura celular e o azoto para a síntese de aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos (Azim *et al.*, 2018). Estudos relevam que os microrganismos utilizam cerca de 30 partes de carbono por cada parte de azoto no processo de decomposição o que implica, segundo (Ryckeboer *et al.*, 2003), uma relação C/N ideal de 30 para um substrato de mistura inicial de compostagem, ao passo que outras pesquisas, efetuadas por (Tuomela *et al.*, 2000), corroboraram que a relação C/N ideal se situa entre 25 e 35.

O tempo de compostagem torna-se mais longo à medida que a razão C/N inicial é mais elevada (Azim *et al.*, 2018). Comparativamente a um composto obtido de resíduos urbanos (com C/N inicial de 30) que é degradado em cerca de sete meses, o composto resultante dos resíduos do corte, de arbustos e de madeira, demora mais tempo a atingir a degradação (dezoito meses), devido ao elevado teor de lenhina e celulose, cuja degradação aeróbia é mais difícil devido à complexidade das cadeias de carbono, apresentando uma razão C/N elevada, (Yulipriyanto, 2011).

Quando a razão C/N inicial é elevada, os substratos orgânicos perdem rapidamente o seu carbono metabolizado e libertado, como dióxido de carbono, durante a respiração aeróbia. Já o seu azoto é apenas metabolizado e perdido, como uma pequena parte do azoto volátil.

Em contrapartida, se a razão C/N for baixa, pode levar a uma perda de azoto por volatilização de amoníaco (Zhan *et al.*, 2021), e, desta forma, provocar a emissão de odores indesejados.

#### 3.3.2 Humidade

A água é vital para os microrganismos que realizam a compostagem, uma vez que os nutrientes devem encontrar-se dissolvidos de forma a ser possível o seu transporte através da membrana celular (Azim *et al.*, 2018).

Durante o processo de compostagem, com o aumento de temperatura em concomitância com a ventilação e revolvimento da massa de resíduos, existe perda de humidade, contribuindo para uma redução do teor de humidade do composto. Por este mesmo motivo, a monitorização e controlo da humidade no início e durante o processo é fundamental, dado que este parâmetro condiciona fortemente a atividade dos microrganismos envolvidos (Piedade & Aguiar, 2010).

Além disso, a humidade contribui para a regulação da temperatura no interior da pilha de compostagem, influenciando diretamente as reações bioquímicas. Valores baixos de humidade, (inferiores a 30%), podem levar a uma desaceleração do processo, pois os microrganismos necessitam de água para realizar as suas reações metabólicas. Por outro lado, um excesso de humidade (mais de 80%) pode levar à compactação do material, prejudicando a circulação de ar, necessário para o processo aeróbico, podendo resultar em condições anaeróbicas, levar à produção de odores desagradáveis e à formação de compostos indesejáveis (Azim *et al.*, 2018).

Segundo Piedade & Aguiar (2010), o teor de humidade dos resíduos deve manter-se entre 40 a 60%. No entanto, os máximos admissíveis de humidade dependem da natureza dos resíduos a compostar, dado que, quanto maior for a dimensão das partículas, maior será o teor de humidade aceitável.

Razmjoo *et al.* (2015) indicam o intervalo de 45 e 50% como ótimo para o processo de compostagem. Segundo os autores, quando a humidade é inferior a 30%, a atividade microbiana é limitada e, acima de 65%, a porosidade do composto diminui, levando à sua compactação.

Nos estudos de compostagem doméstica conduzidos por Barrena *et al.* (2014) foi obtida uma percentagem de humidade do composto final de 44%.

Assim, o grau de humidade adequado para a decomposição aeróbia de diversas tipologias de resíduos é apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Grau de humidade adequado para a compostagem diferentes tipos de resíduos  
(Sequeira, 2013)

Resíduos	Grau de Humidade (%)
Palha	75-85
Madeira (serradura, aparas)	85-90
Resíduos húmidos (cortes de jardins, resíduos de alimentação)	50-55
RU	50-55
Estrume sem palhas	55-65

Durante a fase inicial da compostagem, o teor de água tende a aumentar devido à libertação de água pelos microrganismos que decompõem a matéria orgânica na presença de oxigénio.

Manter esse equilíbrio requer uma monitorização regular com intervenção prática em alguns casos, através da adição de água ou materiais secos, conforme necessário.

Além de influenciar diretamente a eficiência do processo de compostagem, a humidade também desempenha um papel na qualidade do composto final. Isto ocorre porque um teor de humidade inadequado pode afetar negativamente a biodegradação da matéria orgânica, resultando numa menor eficiência do processo de compostagem e, conseqüentemente, num produto final de qualidade inferior (Makan *et al.*, 2013).

A humidade ótima para um determinado substrato é, assim, variável, uma vez que os diferentes materiais de compostagem apresentam características físicas, químicas e biológicas únicas, nomeadamente disponibilidade de água, tamanho das partículas, porosidade e permeabilidade (Makan *et al.*, 2013).

### 3.3.3 Arejamento

O arejamento adequado durante o processo de compostagem promove um ambiente oxigenado, favorecendo as comunidades microbianas aeróbias e inibindo microrganismos anaeróbios e, ainda, auxilia a manutenção do teor de humidade e temperatura adequadas (Piedade & Aguiar, 2010).

Embora a atmosfera contenha 21% de oxigénio, os microrganismos podem sobreviver em concentrações baixas na gama dos 5%. Neste sentido, um teor de 10% de oxigénio é considerado ótimo para a compostagem (Shilev *et al.*, 2007), podendo variar entre 15% a 20% (Diaz & Savage, 2007). Quando o nível de oxigénio desce abaixo deste intervalo, os processos anaeróbios (processos de fermentação e de respiração anaeróbia) começam a ultrapassar os aeróbios, ocorrendo a produção de subprodutos indesejáveis, como metano e compostos sulfurados (Diaz & Savage, 2007). Esses compostos não contribuem apenas para a má qualidade do composto, mas também têm impactos negativos no ambiente.

O principal objetivo do arejamento numa pilha de compostagem é a renovação do ambiente gasoso a um ritmo tal que o fornecimento de oxigénio esteja sempre disponível para os microrganismos. Os sistemas de arejamento mais utilizados são o físico e o forçado (Shilev *et al.*, 2007):

- Arejamento físico ou revolvimento: efetuando o revolvimento físico das partículas para uma nova posição e, conseqüentemente, expondo-as a ar fresco;
- Arejamento forçado ou estático: a camada de ar que envolve as partículas é constantemente diluída ou substituída por ar forçado através da massa de compostagem.

Ambos os métodos de arejamento mostraram ser adequados para uma vasta gama de substratos. Em termos gerais, o processo de compostagem com arejamento forçado é mais rápido e resulta numa maior qualidade do composto. No entanto, segundo os autores, tem desvantagens, em comparação com o método de revolvimento, uma vez que apresenta homogeneização limitada da pilha e formação de gradientes de temperatura. Para além disso, há uma maior necessidade de rega devido à evaporação. As principais desvantagens do

sistema de revolvimento são a dificuldade em controlar a temperatura e a potencial perda de azoto por volatilização, durante os revolvimentos (Shilev *et al.*, 2007)

#### 3.3.4 Granulometria

A dimensão do material destinado à compostagem exerce influência sobre as condições que regem o processo, afetando a capacidade da pilha em garantir a circulação apropriada de oxigénio e água, a interação entre os resíduos e os microrganismos, bem como a homogeneidade do material (Piedade & Aguiar, 2010).

Em geral, a granulometria dos resíduos necessita de correções previamente ao início do processo. Segundo Shilev *et al.* (2007), o tamanho ótimo das partículas é de 25-75 mm. Quando as partículas dos resíduos para compostagem são excessivamente finas, existe o risco de compactação da massa dos resíduos o que pode provocar a criação de ambientes anaeróbios durante o processo (Piedade & Aguiar, 2010). Nestes casos, a solução reside na incorporação de materiais estruturantes, como palha, terra, folhas secas, entre outros.

Já quando a granulometria é excessivamente grossa, esta pode ser corrigida pela redução do tamanho médio das partículas durante o pré-tratamento dos resíduos, o que amplia a superfície de contacto entre os resíduos e os microrganismos, acelerando as reações químicas envolvidas no processo (Piedade & Aguiar, 2010).

#### 3.3.5 Temperatura

A compostagem é um processo exotérmico com produção de uma quantidade relativamente grande de energia. No entanto, apenas 40-50% desta energia é efetivamente utilizada pelos microrganismos para sintetizar energia química sob a forma de Adenosina trifosfato (ATP) e a energia restante perde-se como calor (Diaz & Savage, 2007).

Durante o processo de compostagem, a fim de maximizar a diversidade microbiana e obter uma elevada taxa de biodegradação, a temperatura deve estar entre os 30 e 45°C (Diaz & Savage, 2007).

Normalmente, a temperatura do material começa a subir logo após o estabelecimento das condições de compostagem, ou seja, depois de o material ter sido colocado no compostor. Imediatamente a seguir, se as condições forem adequadas, a temperatura aumenta quase exponencialmente com tempo até começar a atingir um patamar de cerca de 65 ou 70°C. Dependendo do sistema utilizado e da natureza dos resíduos, o período de temperatura elevada persiste durante 1-3 semanas e depois começa a diminuir gradualmente até atingir a temperatura ambiente. Se as condições não forem satisfatórias, o patamar de temperatura elevada pode resultar num aumento do tempo de degradação da MO e do processo de compostagem (Diaz & Savage, 2007).

Quando a temperatura atinge os 55°C, o crescimento microbiano de determinados patogénicos de plantas e humanos é diminuído e, a temperaturas superiores a 60°C, ocorre a destruição de determinadas sementes de ervas daninhas e parasitas (Shilev *et al.*, 2007).

No entanto, quando este parâmetro é demasiado elevado (superior a 60°C) verifica-se uma inibição do crescimento microbiano, abrandando a biodegradação da matéria orgânica e, em última instância, a eliminação de organismos relevantes ao processo de compostagem (Shilev *et al.*, 2007).

O aumento da temperatura deve-se a dois fatores preponderantes: o calor gerado pela população microbiana durante a decomposição dos componentes facilmente decomponíveis dos resíduos (por exemplo, açúcares, amido e proteínas simples) e ao isolamento proporcionado pela massa de compostagem. Em condições climáticas, comparáveis ao clima mediterrânico, o volume crítico de resíduos, para ocorrer compostagem, é acima de 1 m<sup>3</sup> implicando que, com um volume inferior, o calor será perdido tão rapidamente quanto é gerado, e o material permanecerá à temperatura ambiente (Diaz & Savage, 2007).

Quando o material facilmente decomponível tiver sido degradado, a atividade bacteriana diminui e, conseqüentemente, a temperatura diminui. Pode presumir-se que, quando a temperatura desce para a temperatura ambiente ou alguns graus acima, os componentes biologicamente mais instáveis dos resíduos foram estabilizados e, portanto, o material está suficientemente composto para ser armazenado ou utilizado (Diaz & Savage, 2007).

Na compostagem doméstica, no entanto, devido ao volume reduzido do compostor doméstico, comparativamente aos reatores industriais e à compostagem comunitária, a temperatura não atinge frequentemente valores tão elevados. Segundo Storino *et al.*, 2016, nos ensaios realizados em compostores domésticos exteriores de volume 320 L de material plástico, a temperatura atingiu valores máximos na ordem dos 45°C, tendo apenas apresentado valores superiores nos compostores alimentados com resíduos de carne. Neste último caso foi possível atingir os 55°C. Os autores defendem que para a compostagem doméstica a presença de resíduos de origem animal, nomeadamente carne e peixe tem forte influência na temperatura máxima atingida durante o processo (Storino *et al.*, 2016). Esta teoria é ainda corroborada por Smith & Jasim (2009) que referem que as temperaturas ideais para a fase termófila (na ordem dos 55°C) são difíceis de atingir na compostagem doméstica, se estiverem presentes apenas resíduos vegetais.

### 3.3.6 pH

O pH ótimo do processo de compostagem varia consoante a população específica de microrganismos presentes. Enquanto as bactérias preferem um pH quase neutro, os fungos desenvolvem-se melhor num ambiente bastante ácido (Diaz & Savage, 2007).

Verifica-se uma diminuição do pH no início do processo (i.e., até 5,0), como consequência da atividade das bactérias formadoras de ácido que decompõem o material rico em carbono em ácidos orgânicos. Quando esta fase de acidificação termina, e os metabolitos intermédios estão completamente mineralizados, o pH torna-se alcalino e pode existir uma libertação de amoníaco, se existir excesso de azoto na massa de resíduos. No final do processo, o pH tende a estabilizar na ordem dos 8,0-8,5 (Diaz & Savage, 2007).

Nos estudos de monitorização de cinco compostores domésticos efetuados por Adhikari *et al.* (2012), foi verificada uma variação de pH entre 7,2-8,0 em que o compostor com maior percentagem de resíduos alimentares apresentou o pH mais ácido na ordem dos 5. Os compostores domésticos alimentados com resíduos provenientes da manutenção de jardins (materiais mais secos) apresentaram um pH ligeiramente superior na ordem de 7,2 e 6,8, respetivamente.

No que concerne à variação de pH em compostores domésticos, tendo em conta a tipologia de resíduos, Storino *et al.* (2016) verificaram que a presença de resíduos de origem animal, nomeadamente carne, tem pouca influência no pH final do composto, verificando-se uma ligeira diminuição de pH, na presença de maior percentagem de carne.

Saidi, Feki, & Ayadi (2008) verificaram resultados semelhantes nos seus ensaios, onde o pH do composto final apresentou uma baixa variação, entre 7,5 e 7,8, tendo sido ligeiramente mais alcalino nas misturas com maior percentagem de resíduos provenientes de manutenção de espaços verdes.

### 3.3.7 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis

Durante o processo de compostagem, a evolução de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) está relacionada com as mudanças nas características físicas, químicas e biológicas dos biorresíduos.

A monitorização de ST e SV, ao longo do processo de compostagem, permite extrair informação da quantidade de matéria orgânica disponível para ser biodegradada por microrganismos, presente nas amostras de resíduos, e ainda a quantidade de matéria orgânica presente no final do processo, no composto, extrapolando a eficácia do processo de biodegradação e ainda a qualidade do composto final (Peces *et al.*, 2014).

Os ST é o termo aplicado ao resíduo que permanece na cápsula de porcelana após a evaporação da água de uma amostra de resíduo e da sua subsequente secagem a uma temperatura definida entre 103-105°C (APHA, 2017). Neste sentido, a temperatura representa o parâmetro que mais influencia este processo (Peces *et al.*, 2014).

No contexto das análises de sólidos, a matéria orgânica é geralmente determinada pela perda de peso na ignição, que é chamada de sólidos voláteis. A determinação de SV é efetuada através da ignição da amostra numa mufla a  $550 \pm 50^\circ\text{C}$ . Portanto, a matéria orgânica é a fração dos sólidos que se volatiliza, distinguindo-se dos SF que permanecem após a ignição, que representam a fração inorgânica. Os SV e SF podem ser determinados a partir dos ST, suspensos ou dissolvidos (APHA, 2017).

De acordo com os estudos de Adhikari *et al.* (2012) onde foi efetuada uma comparação temporal entre as três camadas, espaçadas de dez dias cada, (inferior, média e superior), de cinco compostores, de uma forma global, verificase o comportamento evolutivo de teor de ST e SV.

Na fase inicial, constata-se um teor elevado de ST e SV devido à adição de materiais orgânicos não digeridos. Após o início da decomposição da MO pelos microrganismos, ocorre uma diminuição no teor de ST e SV, durante a decomposição dos materiais orgânicos.

No decorrer da compostagem, verifica-se uma diminuição nos sólidos totais em virtude da decomposição dos materiais orgânicos em elementos mais elementares e enriquecedores para o solo (Adhikari *et al.*, 2012). Durante esse tempo, os sólidos orgânicos sofrem alterações, transformando-se em material orgânico degradado (Elango *et al.*, 2009). De igual forma, o nível de SV diminui ao longo da compostagem, tendo, no referido estudo, a camada inferior dos compostores (mais antiga) apresentado uma percentagem de SV mais baixa do que as outras duas camadas (Adhikari *et al.*, 2012).

Relativamente à tipologia de resíduos, Adhikari *et al.*, 2012 verificaram ainda que os resíduos alimentares possuem uma maior proporção de MO em comparação com os resíduos de jardim. A matéria orgânica, expressa como teor de sólidos voláteis, revelou que os resíduos alimentares compostos essencialmente por frutas, vegetais e restos alimentares, apresentam uma elevada fração de matéria orgânica facilmente biodegradável, enquanto os resíduos de jardim, constituídos por folhas, relva e resíduos lenhosos, apresentam uma fração orgânica menos biodegradável, devido à presença de compostos como lignina e celulose.

A análise da variação dos sólidos voláteis é crucial, pois indica a eficiência da decomposição. Uma compostagem bem-sucedida geralmente resulta numa redução significativa nos sólidos voláteis, indicando a conversão eficaz dos resíduos em substâncias benéficas para o solo.

## 4 Compostagem Doméstica

### 4.1 Compostagem na Europa

A Diretiva (UE) 2018/851, de 30 de maio, estabelece que todos os estados membros da União Europeia devem garantir que os biorresíduos produzidos sejam reciclados na origem ou sejam recolhidos seletivamente até 2023.

Entre 1995 e 2022, a quantidade de RU enviados para aterros na Europa diminuiu significativamente, de 121 milhões de t para 53 milhões de t, uma redução de 56%, com uma taxa de resíduos encaminhados para aterro diminuindo de 61% para 23%. Durante o mesmo período, a reciclagem aumentou de 23 milhões de t para 68 milhões de t, elevando a taxa de reciclagem de 11% para 30%. A compostagem registou também valores superiores em 2022, comparativamente a 1995, apresentando uma variação 14 milhões de t (7%) para 46 milhões de t (19%). A evolução da legislação europeia, que incentiva práticas mais sustentáveis e a recuperação de materiais e energia, reflete, um progresso significativo na gestão de RU (EUROSTAT, 2024). Neste sentido, a compostagem doméstica em complemento à industrial, apresenta um grande potencial uma vez que permite o tratamento de resíduos de forma descentralizada, sem necessidade de recolha e transporte, reduzindo assim os impactes ambientais, nomeadamente as emissões de GEE (Colón *et al.*, 2012).

Alguns países europeus como a Espanha, Bélgica, Eslovênia, França tomaram diversas iniciativas relativas à gestão de resíduos alimentares, de forma a motivar o tratamento destes na fonte (Jamal *et al.*, 2019).

No programa Revitaliza, na província espanhola de Pontevedra, foi adotada uma estratégia descentralizada, combinando compostagem doméstica, compostagem comunitária e pequenas instalações de compostagem. Esse programa foi acompanhado por um amplo esforço de consciencialização e treino da população (van der Linden & Reichel, 2020).

Na Bélgica, em Flandres, mais de 5 000 voluntários foram treinados ao longo de 25 anos para auxiliar os cidadãos na prática da compostagem doméstica, ensinando-os a gerir os seus resíduos de forma sustentável. Este trabalho de

consciencialização e interajuda da própria comunidade resultou na adesão à compostagem doméstica de 41% das famílias. Uma outra iniciativa de compostagem comunitária na cidade de Bratislava, Eslováquia, destacou a importância de uma correta colaboração entre partes interessadas e cidadãos que desejam adotar a compostagem, o que resultou na redução substancial da quantidade de biorresíduos misturados nos resíduos municipais (van der Linden & Reichel, 2020).

Na Eslovénia, quase metade da população adota a compostagem doméstica, utilizando o produto final localmente. Esta realidade é especialmente motivada pela existência de áreas remotas onde sistemas descentralizados podem tratar biorresíduos e resolver problemáticas relacionadas com a acumulação de resíduos (van der Linden & Reichel, 2020).

O projeto *Decisive* (2018) promoveu e demonstrou soluções para sistemas descentralizados de gestão de biorresíduos na Catalunha, Espanha, e na cidade de Lyon, França. A Agência Francesa de Meio Ambiente e Gestão de Energia (ADEME) estabeleceu uma plataforma para partilha de experiências de projetos para valorização de biorresíduos em pequena escala em todo o país o que permite o acesso facilitado a informação e experiências relativas à compostagem para os interessados (Chifari *et al.*, 2020).

Também em Itália, as autoridades preferem prevenir a criação de resíduos em vez de construir novas instalações de tratamento. Soluções descentralizadas, como a compostagem doméstica, estão a tornar-se uma prática comum, com apoio municipal, incluindo a distribuição gratuita de compostores. Desde 2016, os biorresíduos passaram a ter recolha seletiva, e em 2018, cerca de 237 000 t destes resíduos foram tratados por compostagem doméstica (Bruni *et al.*, 2020)

No geral, existe ainda uma grande diversidade de estádios no que concerne à maturidade da recolha seletiva de biorresíduos e realização de compostagem doméstica. Países como a Áustria, a Alemanha, ou a Suécia, têm sistemas de recolha seletiva e tratamento de biorresíduos há mais de 15 anos, enquanto países como o Reino Unido, a Itália ou a Eslovénia registaram progressos significativos durante este período. Portugal, Grécia, Espanha ou República Checa têm ainda um considerável potencial de expansão (van der Linden & Reichel, 2020).

## 4.2 Compostagem em Portugal

Em Portugal, nos últimos anos, a prática de compostagem doméstica tem tido um aumento notável, à medida que as inquietações relativas ao ambiente e à sustentabilidade adquirem maior relevância. Uma diversidade de estímulos tem emergido de distintas entidades, compreendendo municípios, organizações não governamentais e associações ambientalistas. Estes esforços incluem a facilitação de *workshops* e orientações práticas sobre a iniciação da compostagem doméstica, a produção de manuais abrangentes sobre compostagem e até mesmo a distribuição gratuita de compostores com o propósito de impulsionar a conscientização nas comunidades. Neste sentido, diversos municípios, de Norte a Sul de Portugal, têm vindo a impulsionar e a estimular a realização de compostagem doméstica por parte dos munícipes. São exemplo disso mesmo os projetos que a seguir se enumeram.

O projeto "Lisboa a Compostar", promovido pela Câmara Municipal de Lisboa (CMLisboa), realizou mais de 300 ações de formação e registou mais de 5 000 participantes no projeto. A CMLisboa, também, distribuiu de cerca de 3 500 compostores domésticos para contribuir para o desvio dos biorresíduos enviados para aterro sanitário, promovendo a produção de fertilizante para uso em quintais e jardins e disponibilizando ainda 23 compostores comunitários para aqueles que não dispõem de espaço para a instalação de um compostor doméstico, totalizando mais de 880 t/ano de biorresíduos reciclados (CM Lisboa, 2024).

Desde 2020, o município de Sintra implementou medidas para a separação de biorresíduos e incentivos fiscais para os aderentes ao programa de recolha seletiva de resíduos alimentares. Os moradores recebem um balde e sacos verdes para depositar resíduos, com a possibilidade de desconto no tarifário dos serviços de águas e resíduos (SMAS Sintra, 2023).

Outras regiões de Portugal, como Loures, têm em curso um projeto de compostagem doméstica, em parceria com a Valorsul (CM Loures, 2023) e Setúbal, através do programa Setúbal Composto, que proporciona a recolha seletiva de biorresíduos da comunidade (Setubalambiente, 2023).

Na região centro, destacam-se ainda o projeto “Sem Sobras” da câmara municipal de Aveiro (CM-Aveiro, 2023), o projeto desenvolvido nos distrito de Santarém em parceria com a Ecolezíria, empresa intermunicipal da Lezíria do Tejo de recolha e tratamento de resíduos urbanos, que disponibiliza compostores domésticos e comunitários para os seus munícipes (Ecolezíria, 2023), e, ainda, no distrito de Castelo Branco, onde diversos municípios, nomeadamente, Proença-a-Nova (DD CB, 2023a) Vila Velha de Ródão (DD CB, 2023b), Oleiros (DD CB, 2024) disponibilizam compostores domésticos e ações de formação para os seus munícipes.

Na área do Grande Porto existe o projeto de compostagem da LIPOR, intitulado "Terra à Terra", que tem como objetivo promover e ampliar a adoção da prática de compostagem em residências, edifícios e instituições que possuam áreas ajardinadas nos municípios de Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Valongo e Vila do Conde. De acordo com dados estimados para 2022, cerca de 385 kg/ano de biorresíduos foram compostados por compostor/família, tendo sido implementados 17 294 compostores, o que corresponde a cerca de 6 658 t/ano, evitando-se assim cerca de 1 398 t de emissões de CO<sub>2</sub>eq (LIPOR, 2024).

Também a sul de Portugal, existem inúmeras iniciativas de promoção de compostagem doméstica e comunitária com disponibilização de compostores domésticos, comunitários e informação para realização da compostagem como o município de Silves (CM-Silves, 2023), Castro Marim (CM-Castro Marim, 2023), Albufeira (CM-albufeira, 2023), com destaque para Loulé, onde é efetuada a disponibilização de unidades de compostagem em espaços de ensino para todos os habitantes do município (EPAlte, 2023). Beja, em parceria com a empresa intermunicipal Resialentejo, está a implementar um projeto para incentivar o alargamento da rede de compostagem doméstica já existente e realização de formação à respetiva comunidade (VDP, 2023), e Évora, com o projeto “Missão Cascas Solidárias”, com distribuição e desenvolvimento de ações de incentivo à realização de compostagem doméstica e comunitária (CM-Évora, 2023).

### 4.3 Compostagem em Instituições do Ensino Superior

A compostagem doméstica em IES tem vindo a ganhar bastante relevância à medida que estas enfrentam desafios significativos relacionados com o consumo de recursos, nomeadamente energia, água, papel e outros recursos. A implementação de programas de compostagem nas IES permite não só reduzir o desperdício de biorresíduos, mas também educar a sua comunidade e promover a consciencialização, no que concerne à gestão de resíduos e práticas ambientalmente sustentáveis (Gallardo *et al.*, 2016).

Os principais contribuintes para os biorresíduos nas IES são os resíduos alimentares, representando 33% do total em média, e os resíduos de jardim, com 3%. A qualidade da separação na fonte é crucial para todas as categorias, especialmente para a fração orgânica, quando o objetivo é obter um composto de alta qualidade (Bruni *et al.*, 2020; van der Linden and Reichel, 2020).

De forma a compreender os fatores subjacentes aos comportamentos dos estudantes em relação a práticas sustentáveis de desperdício alimentar, a Universidade de Portland efetuou um inquérito à comunidade. Os inquéritos foram feitos presencialmente e online, direcionados aos frequentadores dos espaços de restauração. Os resultados mostraram que grande parte do desperdício de alimentos ocorria porque os participantes não gostavam do sabor da comida ou subestimavam o tamanho das porções. No entanto, a maioria dos participantes demonstrou consciência ambiental, adotando práticas de redução do desperdício alimentar e mostrando interesse e adesão ao projeto de compostagem (Alattar *et al.*, 2020).

Um estudo realizado numa universidade no Texas avaliou os benefícios económicos da compostagem e as medidas necessárias para a sua implementação pela comunidade. Foram realizadas ações de sensibilização para a correta separação de resíduos, com supervisão para evitar contaminantes. A análise económica considerou os custos de implementação, incluindo sensibilização, equipamentos, sinalização, recolha, transporte e processamento, todos subsidiados e cobertos por doações. O projeto demonstrou um saldo económico positivo, reduzindo significativamente os custos de recolha de resíduos e gerando lucro com a venda do composto (Sanders, Waliczek, & Gandonou, 2011).

Também, Keng *et al.* (2020), realizaram um estudo, numa universidade na Malásia, onde foi efetuada uma avaliação económica identicamente positiva, quando confrontados os custos associados à implementação com os lucros obtidos (valor/qualidade composto e taxas de transporte e tratamento de resíduos).

Existem várias IES em Portugal que incorporam os princípios de campus verde/sustentável nos seus planos de sustentabilidade e que abrangem diversos tópicos importantes, incluindo a gestão descentralizada de biorresíduos.

A Universidade do Minho lidera um projeto europeu, financiado pela União Europeia com mais de dois milhões de euros, intitulado "Valorização de Biorresíduos: Produção de Substâncias Húmicas." O projeto tem como objetivo reduzir a quantidade de resíduos em aterro na região transfronteiriça do Norte de Portugal e da Galiza, concentrando-se na compostagem como meio de gestão dos resíduos. A organização estabeleceu parcerias com a LIPOR, Braval, Sociedade Galega do Meio Ambiente, Universidade de Santiago de Compostela e Centro de Valorização Ambiental del Norte (UM, 2023).

A Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa implementou um projeto de compostagem com o objetivo de transformar os seus resíduos provenientes de jardins, bares e cantinas em composto de alta qualidade, diminuindo o impacto do transporte de resíduos e a dependência de fontes externas de adubos. O processo de compostagem estabelecido engloba transporte, receção, triagem, pré-tratamento, criação e manutenção das pilhas de compostagem, resultando em composto e lixiviados. O composto, rico em nutrientes, é aplicado nos jardins e hortas da universidade, proporcionando benefícios para o solo, plantas e ambiente (Avelar e Ulm, 2017).

A Universidade do Porto tem um projeto em parceria com a Fraunhofer Portugal e LIPOR, onde se pretende desenvolver o ConPosting, uma solução tecnológica para digitalizar a compostagem caseira. Este sistema inclui sensores, uma aplicação móvel e um portal web, permitindo a participação dos cidadãos na compostagem. O objetivo é simplificar a monitorização dos compostores através de sensores adaptados que recolhem dados como temperatura e humidade. Os participantes recebem um compostor e formação, monitorizando o processo através da aplicação móvel e portal web (UP, 2023).

A Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica Portuguesa criou, em 1996, o Centro de Demonstração de Compostagem com a finalidade imediata de tratar os biorresíduos da cantina e jardins e sensibilizar a comunidade para o impacto da produção de resíduos. A unidade dispõe de oito compostores em atividade ao ar livre e quatro vermicompostores no espaço coberto do campus. O projeto está aberto a visitantes que pretendam observar as várias fases do processo de compostagem doméstica e está organizado para ser o mais automatizado quanto possível. As pilhas de compostagem são apenas revolvidas e os teores de água, azoto e carbono ajustados, quando a altura estabiliza ou surgem maus odores. É realizada ainda a monitorização da temperatura, de forma a garantir a higienização do composto. O composto é aplicado nos jardins da Universidade ou distribuído em ações de formação (Almeida *et al.*, 2003)

#### 4.4 Tipos de Compostores

Os compostores são concebidos para facilitar e acelerar os processos de transformação dos materiais aí colocados, por forma a que o composto seja utilizado como adubo orgânico. Estes podem ser construídos com diversos materiais, como ripas de madeira (Figura 4.1a), plástico (Figura 4.1b), cimento (Figura 4.1c) (Macário *et al.*, 2023). Os compostores devem ter uma estrutura robusta e serem colocados (na maior parte dos casos) diretamente no solo por forma a facilitar a entrada de microrganismos ou macrorganismos que contribuem para a compostagem, permitindo também a sua drenagem. Estes equipamentos devem ser colocados ao abrigo da chuva e do excesso de vento (Pinto *et al.*, 2015).



a)

b)

c)

Figura 4.1- Compostores domésticos de: a) ripas de madeira; b) plástico, c) cimento

(Macário *et al.*, 2023)

A escolha do compostor adequado ao processo de compostagem deve ser ponderada tendo em consideração os seguintes pontos (APA, 2021):

- o método de compostagem utilizado;
- a sua capacidade volumétrica;
- os materiais de fabrico;
- a facilidade de tratamento e a recolha do composto produzido;
- a sua utilização: doméstica ou comunitária.

O material utilizado mais comum é o plástico, por ser resistente à biodegradação, permitindo uma grande variedade de formatos e facilitando a colocação dos materiais e a remoção do produto final. Existem alguns modelos de plástico com um tambor rotativo (Figura 4.2a) como forma de otimizar o revolvimento. Outros modelos têm um formato cónico, de forma a facilitar a remoção dos materiais já transformados, através de uma abertura inferior (CM-Monforte, 2024).

Outro método de compostagem que pode ser praticado de forma doméstica é a vermicompostagem. Esta metodologia utiliza compostores com sistemas modulares, em que diversas caixas são colocadas umas sobre as outras com minhocas (Figura 4.2b) para acelerar os processos produzindo um adubo de excelente qualidade. Este processo é mesófilo, onde as condições de humidade, oxigenação e temperatura são otimizados para que o desenvolvimento das minhocas não seja comprometido (Palaniveloo *et al.*, 2020). É ainda importante a existência de pequenos orifícios na parte superior das laterais ou tampa para permitir um correto arejamento e, no fundo, para evitar acumulação de humidade excessiva (LIPOR, 2023)

A compostagem Bokashi, ao contrário da compostagem, assenta na fermentação da matéria orgânica utilizando um inóculo de microrganismos (Medvidović *et al.*, 2024). Este processo divide-se em duas etapas: fermentação anaeróbia e decomposição. O compostor utilizado neste tipo de compostagem tem por norma dimensões reduzidas, são fabricados em plástico e têm a forma de um balde, de tampa hermética, e com uma torneira na base, podendo ser utilizado em apartamentos (Figura d4.2c) (CM-Monforte, 2024). Os resíduos são colocados em camadas sucessivas, intercaladas com um cartão ou uma folha

de papel, para diminuir o arejamento. Entre cada camada, deve ser colocado um produto em forma de pó, que é fornecido quando se adquire este compostor, que acelera a fermentação. A fase de fermentação ocorre em dez a vinte dias e daí resultam duas frações, o pré composto e o lixiviado, que tem elevado valor como adubo líquido (Medvidović *et al.*, 2024).



a)



b)



c)

Figura 4.2- Compostores domésticos: a) tambor rotativo; b) para vermicompostagem; c) de Bokashi (Leroy Merlin, 2023)

## 5 Caso de Estudo: Compostagem Doméstica no ISEL

### 5.1 Sustentabilidade no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa na área dos biorresíduos

O ISEL é uma instituição de ensino superior situada na capital de Portugal, Lisboa, que se destaca pela sua forte atuação nas áreas da engenharia e tecnologia. O ISEL abrange diversas esferas do conhecimento e dedica-se ativamente à pesquisa e desenvolvimento (ISEL, 2023).

O ISEL aderiu ao Programa Eco-Escolas em 2020 e obteve o galardão EcoCampus em 2022 promovido pela *Foundation for Environmental Education (FEE)*. Este projeto, reconhecido pela UNESCO, tem como missão principal a prossecução dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas. O programa tem como principal objetivo fomentar iniciativas relacionadas com a educação ambiental em todos os níveis de ensino, envolvendo atualmente 59 000 escolas, em 68 países (ISEL, 2023).

No ano letivo 2019/20, período em que foi lançado o projeto ISEL Eco-Escola, as atividades concentraram-se sobretudo em intervenções no campus. O objetivo era potenciar a utilização de fontes renováveis de energia elétrica, promover o uso mais eficiente da água e realizar diversos levantamentos relacionados com os espaços verdes (ISEL, 2023). Nesse contexto, surgiu o projeto de implementação da compostagem no ISEL, em parceria com o projeto “Lisboa a Compostar”, da Câmara Municipal de Lisboa, que forneceu sete compostores domésticos (ver capítulo 6.1.1) para instalação no campus do ISEL.

Com o apoio dos participantes do programa Eco-escolas, foram instalados no total oito compostores no campus, sendo o oitavo adquirido à posteriori.

O presente trabalho fez parte do projeto IPL/2022/BioCompost\_ISEL financiado pelo IPL no âmbito do Concurso de Investigação, Desenvolvimento, Inovação e Criação Artística (IDI&CA) 2022. Este concurso promove a dinamização da investigação científica e da criação artística no IPL, apoiando projetos propostos por docentes e suas equipas de todas as unidades orgânicas. Incentivando abordagens multidisciplinares e colaborações interinstitucionais, o financiamento provém de verbas do próprio Instituto.

## 5.2 Origem dos Biorresíduos

Os Biorresíduos produzidos no ISEL têm origem em quatro fontes principais:

- Cantina SASIPL;
- Restaurante “ByChef”;
- Restauração do pavilhão do estudante;
- Manutenção dos espaços verdes do CAMPUS.

A grande maioria dos biorresíduos são produzidos pela Cantina SASIPL, e pela manutenção dos espaços verdes do ISEL, no entanto, em menor escala, existe a produção de biorresíduos a nível individual através do consumo de alimentos não cozinhados, como frutas e vegetais, que podem ser depositados no compostor.

Quanto à tipologia de biorresíduos existentes, destacam-se, essencialmente, duas categorias:

1. Resíduos alimentares, frequentemente produzidos como resultado da preparação das refeições, nomeadamente cascas de fruta e legumes, leguminosas, cascas de ovos, carne e peixe. No entanto, dada a possibilidade de atrair pragas como roedores, baratas e outros insetos de menor dimensão, como mosquitos e formigas, estes últimos não devem ser colocados no compostor.

2. Resíduos provenientes da manutenção dos espaços verdes, como relva, folhas secas, pequenos ramos e raízes. Considerando o elevado teor de lenhina destes últimos é necessário moderar a quantidade depositada no compostor, uma vez que dificulta o processo de compostagem.

### 5.3 Implementação da compostagem no ISEL

A vertente prática do presente trabalho foi projetada para o ISEL, com o objetivo da validação do potencial de redução da produção de biorresíduos e respetivo aproveitamento dos mesmos por compostagem, para criação de uma matéria valorizável, o composto, tendo incidido em seis fases principais.

A Fase 1 designada por ação de sensibilização para a comunidade do ISEL, através da afixação de informação acerca da compostagem (Figura 5.1) e formação, com incentivo à participação responsável dos diferentes elementos (alunos, docentes, não docentes e visitantes) para a realização da compostagem.



Figura 5.1-Poster sobre compostagem no ISEL

A Fase 2 consistiu na instalação de oito compostores, em parceria com o programa ECOESCOLAS e realização de compostagem doméstica no Campus do ISEL. Alguns dos principais intervenientes desta fase foram as entidades de gestão dos espaços de restauração, alunos da Licenciatura de Gestão e

Tecnologias Municipais e do Mestrado de Engenharia da Qualidade e Ambiente e docentes e não docentes do ISEL.

A Fase 3 envolveu a realização de um estudo preliminar, com recolha do composto e análise de parâmetros durante o processo de compostagem, visando otimizar o processo de degradação da matéria orgânica, por forma a obter o produto final com a melhor qualidade possível (Figura 5.2).



Figura 5.2-Composto retirado dos compostores para determinação de parâmetros físico-químicos

Na Fase 4 foi realizada a análise de resultados e estabelecimento de ações de melhoria. No final desta fase, devido ao elevado número de contaminantes detetados (Figura 5.3), foi concretizada uma nova ação de sensibilização com realização de um inquérito, direcionado à comunidade do ISEL.



Figura 5.3-Presença de contaminantes no Comp4 (saco de plástico)

A Fase 5 consistiu na recolha de amostras de resíduos e análise semanal dos parâmetros em estudo durante o processo de decomposição, durante seis meses, de janeiro a julho de 2023 (Figuras 5.4 e 5.5).



a)



b)



c)

Figura 5.4-Pilha de compostagem do CComp4 a) após 12 semanas de compostagem; b)16 semanas; c) 20 semanas



Figura 5.5-Camadas da pilha de compostagem no Comp1 no ensaio 2 após 20 semanas de compostagem

Na Fase 6 foi realizada a aplicação do composto numa área seleccionada dos espaços verdes do ISEL (5.6a; 5.6b 5.6c), tendo sido realizado o levantamento da área disponível de cerca de 7.500 m<sup>2</sup> (Figura 5.7)



a)



b)



Figura 5.6-Aplicação de composto nos espaços verdes do ISEL: a) Esvaziamento do compostor; b) Recolha do composto; c) Aplicação do composto em hortensias do jardim do ISEL

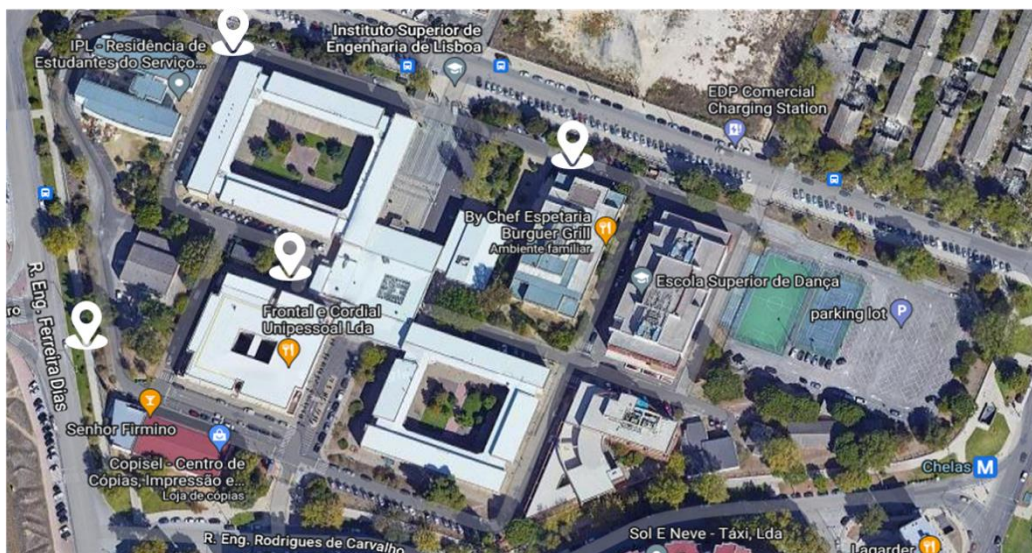


Figura 5.7-Mapa ISEL com localização dos compostores

## 6 Materiais e Métodos

### 6.1 Materiais

#### 6.1.1 Compostores Domésticos

Os locais para a instalação dos oito compostores foram analisados e estrategicamente selecionados, de forma a serem locais resguardados da incidência direta do sol e chuva, mas, simultaneamente, de fácil acesso para os seus utilizadores, na proximidade dos espaços de exploração alimentar e da Residência de estudantes Maria Beatriz do ISEL, onde ocorre a maior produção de biorresíduos (Figura 6.1). Em cada local foram colocados 2 compostores, sendo designados por direita e esquerda, por forma a existir capacidade para receber os biorresíduos.

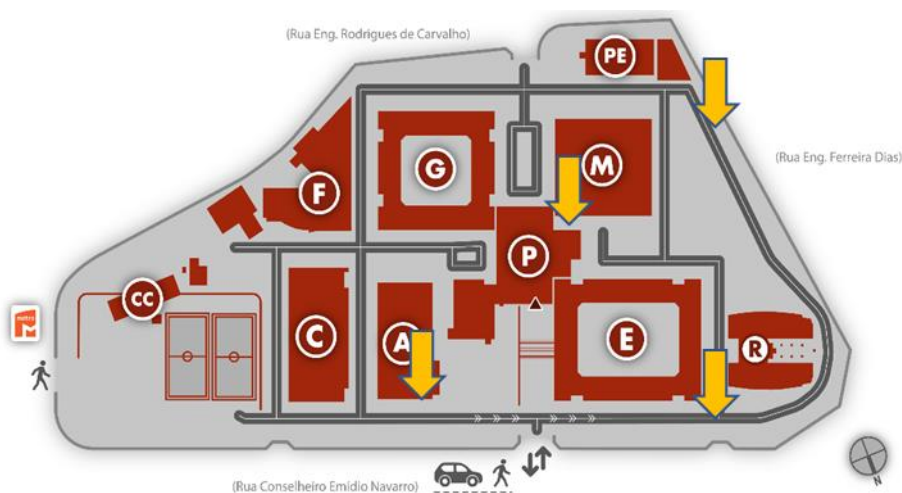


Figura 6.1-Disposição dos compostores (setas a amarelo) no campus do ISEL

Os sete compostores usados têm cerca de 380 L de capacidade (Figura 6.2 a) e são feitos de material plástico com perfurações transversais, o que permite a ventilação do conteúdo e evita a produção de odores desagradáveis durante o processo. Além disso, possuem uma abertura superior (tampa do compostor), pela qual os resíduos são inseridos, o processo acompanhado e o composto retirado, a jusante. O fundo dos compostores é completamente aberto, possibilitando o contacto direto entre os resíduos e o solo, o que facilita a entrada dos microrganismos presentes no solo e a drenagem do lixiviado dos resíduos depositados.

O oitavo compostor apresenta um volume superior, aproximadamente de 400 L, da PARKSIDE (Figura 6.2 b). Para além das características semelhantes aos anteriores, dispunha ainda de uma abertura frontal e traseira para recolha do composto.



Figura 6.2-Compostores domésticos instalados no ISEL com capacidade de: a) 380 L e b) 480 L

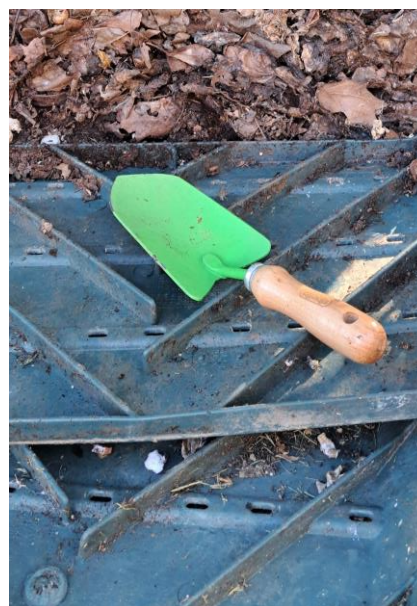
Devido às necessidades de manutenção regular do processo de compostagem, foram ainda utilizados uma pá (Figura 6.3) e um regador conforme descritos na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 Materiais para manutenção da compostagem

Manutenção	Equipamento/material
Arejamento	Pá para revolvimento
Hidratação	Regador



a)



b)

Figura 6.3-Pás utilizadas para acompanhamento do processo de compostagem: a) Pá para revolvimento pilha de compostagem; b) Pá para recolha de amostras

### 6.1.2 Amostragem, Acompanhamento do Processo de Compostagem e Análises Físico-Químicas

Para a recolha de amostras destinadas à análise laboratorial, foram utilizados alguns materiais, incluindo uma pequena pá (Figura 6.3 b), sacos de plástico com fecho hermético, para acondicionamento e transporte e um marcador para identificação das amostras. Para supervisão do processo e realização de análises físico-químicas, utilizou-se o material que se encontra na Tabela 6.2.

Tabela 6.2- Materiais para monitorização do processo de compostagem

Processo	Equipamento/material
Determinação de Temperatura	Termómetro
Determinação da Altura da Pilha	Fita Métrica
Determinação da Humidade	Luvas de Latex
Determinação do pH	Agitador VELP Scientifica
	Água destilada
	Balança Sartorius
	Copo de Precipitação
	Espátula
	Esguicho
	Eléctrodo medidor de pH Parkside
Determinação dos Sólidos Totais, Voláteis e Fixos	Magnético Velp
	Proveta 100 ml
	Banho termostaticado Memert
	Balança Sartorius
	Cápsulas de cerâmica
	Espátula
	Estufa Horo
Exsicador	
Determinação dos Sólidos Totais, Voláteis e Fixos	Pinças
	Mufla Heraeus

## 6.2 Métodos

### 6.2.1 Instalação de compostores e implementação da compostagem no ISEL

A instalação de compostores no ISEL envolveu um planeamento cuidadoso e uma abordagem estratégica, de forma a estabelecer parcerias para garantir a eficiência e o sucesso do projeto.

Primeiramente, foi possível, através do grupo de alunos e do corpo docente que integra o projeto Eco-Escolas, realizar uma análise detalhada das necessidades e possibilidades da instituição, considerando fatores como a quantidade de biorresíduos gerados no campus, a disponibilidade de espaço e recursos para a instalação de compostores e a viabilidade do processo de compostagem.

Uma vez decidida a instalação dos compostores, foi crucial estabelecer sessões de treino e educação para os membros da comunidade do ISEL, tendo sido desenvolvido *workshops*, palestras e disponibilizados materiais educativos para envolvimento dos alunos, professores, funcionários, elucidando os mesmos sobre a importância da compostagem, como separar os resíduos e o funcionamento do processo de decomposição.

A localização dos compostores também foi um fator cuidadosamente considerado. Estes foram estrategicamente posicionados para garantir a acessibilidade, mas, ao mesmo tempo, para não interferir nas atividades regulares do campus. Idealmente, próximos das áreas onde os biorresíduos eram gerados, como cantina, bar de estudantes ou Residência de estudantes Maria Beatriz.

Em cada posição definida foram instalados dois compostores, um à esquerda e outro à direita, para garantir que estivessem sempre disponíveis para receber resíduos.

A localização dos compostores no campus do ISEL é indicada na Tabela 6.3.

Tabela 6.3-Localização dos compostores no campus do ISEL

Nº Compostor	Localização
Comp1	Residência de estudantes Maria Beatriz (direita)
Comp2	Cafeteria BYCHEF (esquerda)
Comp3	Cafeteria BYCHEF (direita)
Comp4	Bar do estudante (esquerda)
Comp5	Bar estudantes (direita)
Comp6	Cantina SASIPL (esquerda)
Comp7	Cantina SASIPL (direita)
Comp8	Residência de estudantes Maria Beatriz (esquerda)

Os Comp1 e Comp8 foram colocados na lateral da residência dos estudantes Maria Beatriz e foram maioritariamente alimentados por alunos, docentes e não docentes do ISEL, envolvidos no trabalho de investigação, tendo existindo um maior controlo na qualidade e quantidade de resíduos colocados.

A manutenção e gestão adequadas dos compostores, ao longo do tempo, foram também importantes para assegurar que o processo de compostagem fosse eficaz e contínuo. Neste sentido foi efetuada uma supervisão regular, com revolvimento semanal e rega quando necessário, dos compostores, garantindo assim um ambiente propício à decomposição. De forma a quantificar a adequabilidade da humidade no compostor foram identificados 5 níveis: muito húmido (com escorrência); húmido; adequado; seco; muito seco (sem atividade aparente).

## 6.2.2 Processo de compostagem

### 6.2.2.1 Descrição do processo

O processo de compostagem foi efetuado de forma faseada, para garantir uma abordagem sistemática e eficiente, avaliar e otimizar o processo de implementação, tendo sido realizados dois ensaios. O primeiro ensaio de compostagem ocorreu durante seis meses, de março a setembro de 2022, funcionando como um teste de preparação, visando testar os equipamentos de

compostagem, assim como para observação do comportamento da comunidade do ISEL perante prática da compostagem doméstica. Neste ensaio preliminar, foram efetuadas determinações de pH e de T mensalmente, tendo sido retirada uma amostra pontual para determinação de ST e SV, numa fase intermédia da compostagem, e uma amostra do composto, por forma a testar as metodologias experimentais dos ST e SV.

No ano letivo 2022/2023, foi iniciado um segundo ensaio de compostagem. Antes deste ensaio de compostagem, foi efetuada uma nova ação de informação, com o objetivo de um maior envolvimento da comunidade do ISEL e com a afixação de posters na proximidade dos compostores, onde constava informação pertinente sobre o processo de compostagem. Seguiu-se a fase do ensaio de compostagem, entre os meses de janeiro e julho de 2023, quando foi efetuado um acompanhamento regular dos compostores.

Os compostores foram alimentados semanalmente, o que permitiu fornecer aos microrganismos matéria orgânica (substrato) de forma contínua. A adição de novos resíduos foi ponderada, de forma a equilibrar materiais ricos em carbono (como folhas secas) com materiais ricos em azoto (como restos de comida), mantendo a razão carbono/azoto adequada de cerca de 3:1.

Semanalmente, foi verificado o estado da pilha de compostagem, tendo sido determinada a temperatura, a humidade, a existência de odores desagradáveis e a presença de contaminantes e de pragas. A supervisão permitiu ajudar a identificar problemas precocemente e a tomar medidas corretivas, quando necessário.

Com o objetivo de garantir um arejamento adequado para fornecer oxigénio aos microrganismos envolvidos na decomposição dos resíduos, foi efetuado o revolvimento da pilha de compostagem com recurso a uma pá. Este procedimento ajudou na prevenção/correção de odores desagradáveis, associados à compactação de resíduos e ainda garantiu uma adequada mistura dos resíduos na pilha.

#### 6.2.2.2 Amostragem

No sentido de garantir a adequada análise dos parâmetros, o processo de amostragem foi realizado segundo as seguintes etapas:

- Tipo e quantidade da amostra: a amostra do conteúdo dos compostores foi do tipo composta, sendo constituída por frações retiradas de vários pontos da camada mais superficial do compostor, totalizando cerca de 200 g;
- Identificação dos sacos: todos os sacos foram devidamente identificados com a data de recolha e identificação do compostor de onde a amostra foi retirada;
- Conservação das amostras: foram conservadas refrigeradas no frigorífico até à sua análise.
- Remoção de contaminantes: antes da recolha efetuou-se a identificação e remoção dos contaminantes detetados.

Representatividade de amostra: de forma a garantir a representatividade da amostra, foi efetuada a mistura do conteúdo do compostor e utilizado o método dos quartis no laboratório de ambiente do ISEL (Figura 6.4)

Todos os parâmetros foram realizados em duplicados, por forma a ter valores concordantes, sendo que os resultados correspondem à média das duas medições.



Figura 6.4-Amostragem pelo método dos Quartis

Esses passos foram rigorosamente seguidos no processo de recolha das amostras, a fim de garantir a representatividade das amostras.

### 6.2.2.3 Humidade

A avaliação da humidade da pilha de resíduos foi realizada utilizando o método conhecido como "teste da esponja" (Figura 6.5). Esse método envolve a manipulação manual de uma quantidade de material, apertando-o para verificar o seu teor de humidade. Se a mão ficar húmida, é indicativo de que a humidade se encontra adequada. No entanto, se se verificar escorrimento de água, significa que a humidade se encontra em excesso. Por outro lado, se a mão ficar seca, indica a necessidade de adicionar água à pilha de resíduos, de forma a manter a humidade adequada.

Assim, quando foi detetada uma pilha de resíduos muito seca, foi adicionada água. Pelo contrário, no caso de excesso de humidade, foi efetuada a correção através da adição de materiais secos, como folhas secas ou terra.



Figura 6.5-Determinação da altura da pilha de resíduos

A determinação da altura da pilha de resíduos nos compostores, durante o ensaio de compostagem, é fundamental para garantir um ambiente propício à decomposição eficiente.

A altura média da pilha foi monitorizada ao longo do tempo, com recurso a uma fita métrica. A medição foi realizada da base do compostor doméstico até ao nível de altura dos resíduos. Semanalmente, foram registadas as datas de supervisão e o registo fotográfico do compostor.

#### 6.2.2.4 Contaminantes e pragas

A avaliação da presença de contaminantes nos compostores foi realizada através da observação visual de presença de resíduos, que não fossem biorresíduos, como por exemplo plásticos e beatas (Figura 6.6).



Figura 6.6-Exemplo de contaminantes nos compostores

A presença de pragas foi identicamente controlada, monitorizando a presença de insetos ou roedores. Nos casos em que se verificou a existência de pragas, como formigas e mosquitos, foi adicionada terra e fechada a tampa do compostor para manter os infestantes afastados.

#### 6.2.2.5 Determinação da temperatura

A determinação da temperatura foi realizada com recurso a um termómetro. Procedeu-se à leitura da temperatura no interior do compostor, utilizando um termómetro analógico de escala 1 grau. O termómetro foi introduzido na pilha de compostagem, a cerca de 50 cm de profundidade até o valor da temperatura estabilizar. A medição foi efetuada em cinco pontos (T1 a T5) no interior do compostor, de acordo com o apresentado na Figura 6.7. Os valores obtidos foram lidos diretamente do termómetro (Figura 6.8). A temperatura ambiente foi também medida junto aos compostores domésticos.

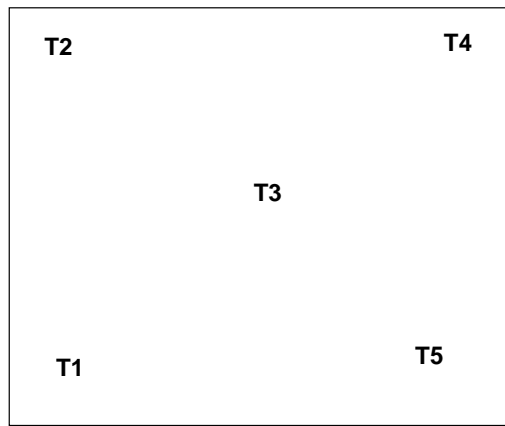


Figura 6.7-Pontos de medição de temperatura no compostor



Figura 6.8-Medição da temperatura no compostor

#### 6.2.2.6 Determinação do pH

A medição de pH foi realizada segundo o método “Method 9045D” (EPA, 2004), destacando-se as seguintes fases:

- Calibração do equipamento de medição com recurso às soluções tampão de pH 4,00, 7,00 e 10,00;
- Taragem do copo de precipitação na balança e posterior pesagem de cerca de 10 g de amostra;
- Diluição da amostra de resíduos em 100 g de água destilada com recurso a uma proveta graduada na proporção de 1:10;
- Agitação da mistura num agitador magnético durante 5 minutos (Figura 6.9);

- Repouso da amostra por 15 minutos favorecendo a sedimentação dos resíduos no fundo do copo de precipitação;
- Medição do pH mergulhando o eletrodo nas amostras e registrando os valores (Figura 6.10).

Entre medições foi efetuada a lavagem, com água destilada, e secagem do eletrodo de pH.

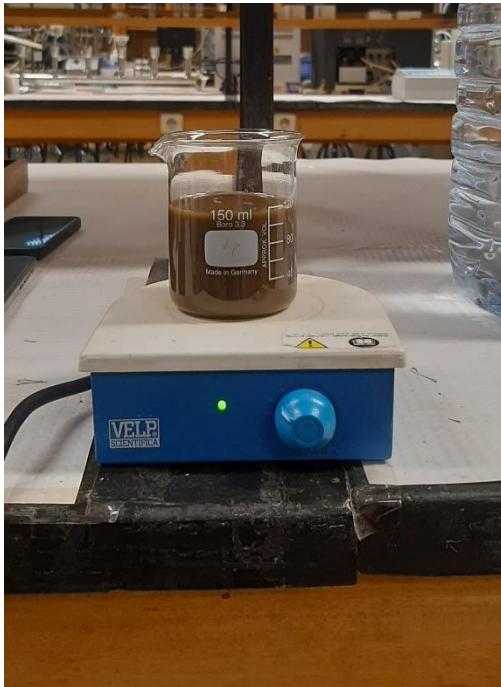


Figura 6.9-Agitador eletromagnético para mistura das amostras de resíduos com água destilada

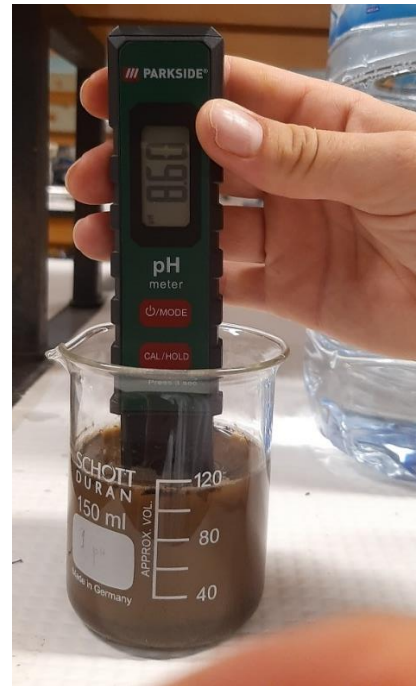


Figura 6.10-Medidor de pH

#### 6.2.2.7 Determinação de ST, SV e SF

A determinação dos sólidos totais (ST) foi realizada segundo o método 2540G do (APHA, 2017). Destacam-se os seguintes passos:

- Taragem das cápsulas a 550°C durante 1 h na mufla;
- Arrefecimento das cápsulas no exsiccador;
- Colocação de 10 g de amostra de resíduos numa cápsula de porcelana devidamente tarada (Figura 6.11);

- Colocação da amostra em banho termostático de forma a evaporar parte da água presente na amostra (Figura 6.12);
- Secagem da amostra na estufa de 103 - 105° C, durante 24 h;
- Arrefecimento da amostra no exsicador;
- Pesagem da amostra, repetindo os passos secagem-arrefecimento-pesagem até se obter peso constante.

Os ST são calculados de acordo com a equação 1 (APHA, 2017).

$$\% \text{ Sólidos Totais} = \frac{(A - B) \times 100}{C - B} \quad (1)$$

Onde:

A= Massa de amostra seca + massa da cápsula;

B= Massa da Cápsula;

C= Massa da amostra húmida + massa da cápsula.



Figura 6.11-Balança para pesagem de resíduos



Figura 6.12-Banho termostatzado para a determinação de sólidos

Após a determinação dos ST, foram obtidos os Sólidos Voláteis (SV) e os Sólidos Fixos (SF) segundo o método 2540G (APHA 2017). Os SV e SF foram determinados da seguinte forma:

- colocação do resíduo seco (após determinação dos ST) na mufla, a 550 °C, por 24 h (Figura 6.13);
- arrefecimento da amostra no exsicador, até à temperatura ambiente, para, depois, proceder às pesagens (Figura 6.14);
- repetição do procedimento até se obter o peso constante.
- 



Figura 6.13-Mufla para determinação de sólidos (Ignição de amostra de resíduo na mufla a 550°C)



Figura 6.14-Exsicador para arrefecimento de resíduos

Os SV e SF são calculados segundo as equações 2 e 3 respetivamente, (APHA, 1998):

$$\text{Sólidos Voláteis \%} = \frac{(A - D) \times 100}{A - B} \quad (2)$$

$$\% \text{ Sólidos Fixos} = \frac{(D - B) \times 100}{A - B} \quad (3)$$

Onde:

A= Massa de amostra seca + massa da cápsula;

B= Massa da Cápsula;

C= Massa da amostra húmida + massa da cápsula;

D= Massa da amostra + cápsula após ignição a 550 °C.

Todas as amostras foram analisadas pelo menos em duplicado, por forma existirem valores concordantes.

### 6.2.3 Inquérito sobre a compostagem

Para a realização do inquérito equacionou-se inicialmente abranger todo comunidade do ISEL, mas por dificuldades técnicas não foi possível, tendo sido escolhida uma amostra representativa da comunidade, nomeadamente elementos dos cursos de Licenciatura em Tecnologias e Gestão Municipal e de Mestrado em Engenharia da Qualidade e Ambiente, onde são lecionadas unidades curriculares relacionadas com a gestão de resíduos e com a sustentabilidade. Essa amostra incluiu alunos, docentes e não docentes.

O objetivo principal do inquérito foi avaliar o conhecimento, atitudes e práticas dos participantes em relação à compostagem, além de identificar barreiras para a adoção da compostagem doméstica no ISEL.

O inquérito é composto por doze questões, divididas em três seções: dados demográficos (3 questões sobre idade, género e habilitações literárias) desenvolvimento sustentável (3 questões sobre o conhecimento dos

participantes sobre alterações climáticas e desenvolvimento sustentável) e produção e tratamento de biorresíduos (6 questões sobre as práticas atuais de compostagem e as barreiras enfrentadas). A duração média para completar o inquérito é de aproximadamente 3 minutos.

O inquérito foi divulgado através de uma abordagem direta e presencial junto das turmas, tendo sido realizado online, utilizando uma plataforma de pesquisa digital, e distribuído através de e-mails e códigos QR (Figura 6.12)



Figura 6.15-Código QR para acesso e participação ao Inquérito Compostagem no ISEL

# 7 Apresentação e Discussão de Resultados

## 7.1 Respostas do inquérito à comunidade do ISEL

Com vista à implementação da compostagem no ISEL, e de forma a envolver toda a comunidade, foram realizadas diversas ações de sensibilização nomeadamente, realização de eventos de compostagem, afixação e divulgação de informação e realização de um inquérito, no final das referidas ações (Anexo VII).

O inquérito foi realizado a diferentes elementos, desde alunos, docentes e não docentes, com diversos graus de instrução (desde instrução primária até formação superior) e faixas etárias diversificadas.

De um total de 57 inquéritos enviados obtiveram-se 44 respostas o que correspondeu uma taxa de resposta de 77,2% ( $n^{\circ}$  de respostas/ $n^{\circ}$  inquéritos enviados \* 100).

A taxa de respostas obtida (77,2%) foi elevada, comparativamente com inquéritos desenvolvidos sobre compostagem doméstica, cuja taxa de resposta se situa abaixo, ou na ordem dos 50% (Brana *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2021; US Composting Council, 2019).

Nas Figuras 7.1 a 7.11 apresentam-se, e analisam-se os resultados obtidos.

Faixa etária (assinale qual):  
44 respostas

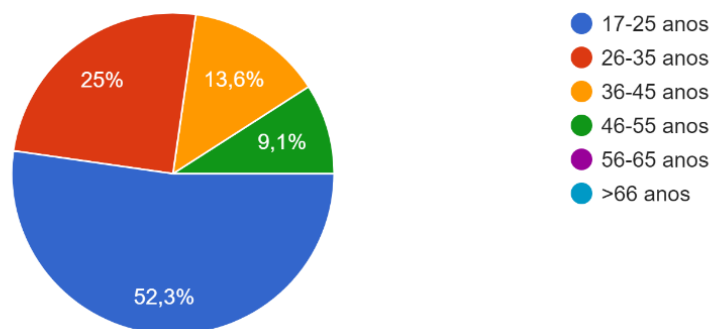


Figura 7.1-Respostas à pergunta 1 do Inquérito Compostagem no ISEL

Conforme verificado na Figura 7.1, a maior parte dos inquiridos (52%) foi realizada a inquiridos da população escolar (entre os 17 e 25 anos), porque foram estes que demonstraram maior disponibilidade para responder.

Habilitações Literárias (escolha uma):

44 respostas

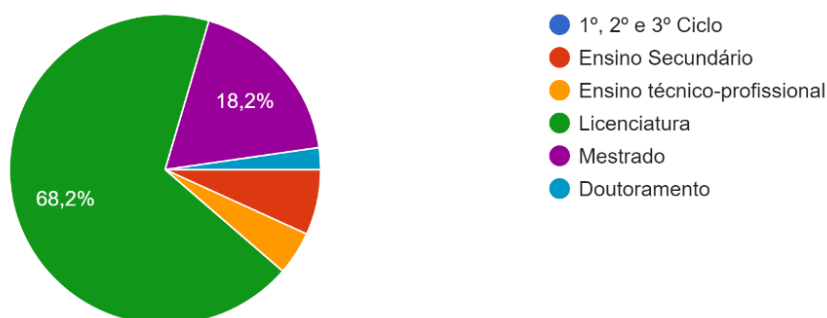


Figura 7.2-Respostas à pergunta 2 do Inquérito Compostagem no ISEL

A maior parte dos inquiridos (89%) eram alunos do ISEL, considerando ser este o universo que tem mais representatividade na comunidade, conforme se verifica na Figura 7.2. A maior parte dos alunos inquiridos eram licenciados (68,2%), seguido de alunos com mestrado (18,2%).

Qual a sua posição relativamente às alterações climáticas? Escolha uma:

44 respostas

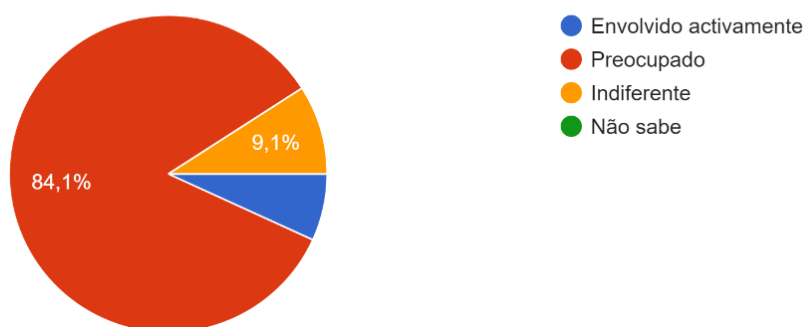


Figura 7.3-Respostas à pergunta nº 4 do Inquérito Compostagem no ISEL

A Figura 7.3 evidencia que 84% dos inquiridos refere encontrar-se preocupado com a temática das alterações climáticas, no entanto, apenas uma pequena percentagem de 4,5% refere encontrar-se envolvido ativamente no combate às alterações climáticas, presumindo-se que, embora demonstre preocupação, o grosso da população ainda não está devidamente consciencializada da

importância das ações individuais (nomeadamente a compostagem) para combater esse flagelo.

Que práticas adota no seu dia a dia que contribuem para o combate às alterações climáticas? (pode escolher mais do que uma opção):

44 respostas

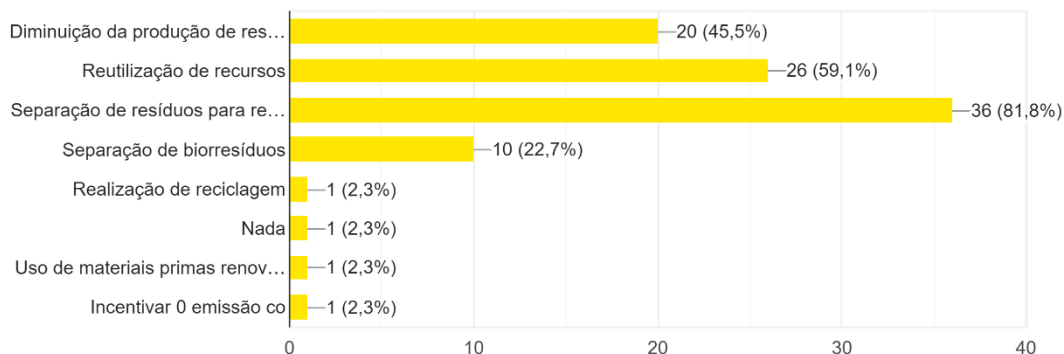


Figura 7.4-Respostas à pergunta nº 5 do Inquérito Compostagem no ISEL

Relativamente às práticas desenvolvidas no quotidiano dos inquiridos que visam o combate às alterações climáticas, e conforme indicado na Figura 7.4, verifica-se que uma elevada percentagem dos inquiridos separa os resíduos para reciclagem (81,8%), sendo que 22,7% fazem a separação dos biorresíduos. Outras medidas importantes em termos da sustentabilidade dos recursos também são adotadas por uma parte significativa do universo do ISEL. No entanto, apesar da percentagem ser reduzida, é inquietante o facto de ainda haver pessoas que não se preocupam em adotar práticas que assegurem a sustentabilidade dos recursos.

Que práticas identifica, no ISEL, que contribuem para o desenvolvimento sustentável relativamente a resíduos? (pode escolher mais do que uma opção):

44 respostas

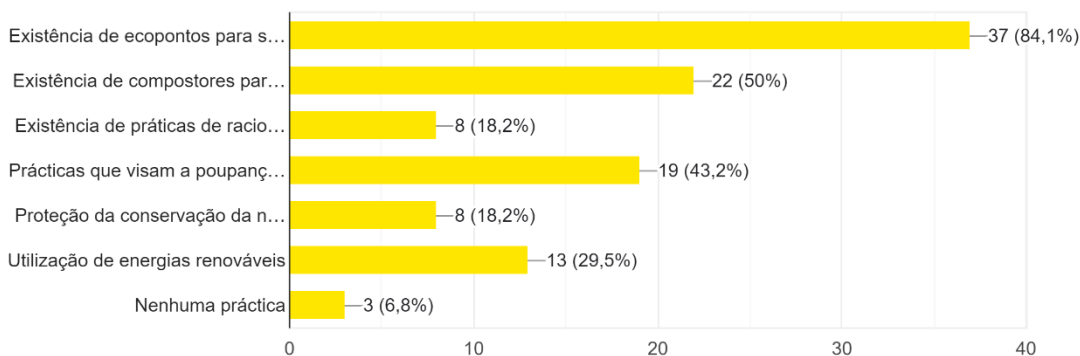


Figura 7.5-Respostas à pergunta nº 6 do Inquérito Compostagem no ISEL

No que concerne à identificação de práticas no Campus do ISEL pelos usuários do mesmo, quase 50% identifica a presença de compostores no campus, conforme mostra a Figura 7.5 Verifica-se também que grande parte dos inquiridos tem conhecimento das ações praticadas no Instituto, com vista à sustentabilidade.

Tem interesse em participar na iniciativa Eco Campus/Compostagem no ISEL?

44 respostas

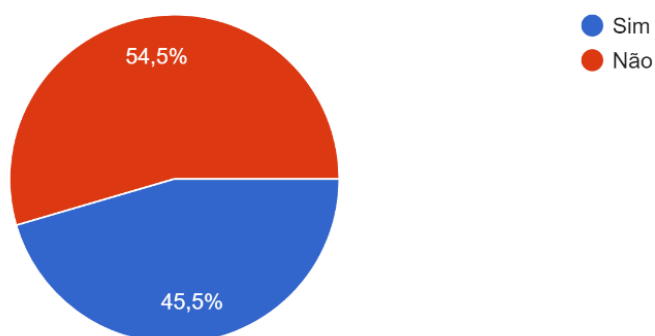


Figura 7.6-Respostas à pergunta nº 7 do Inquérito Compostagem no ISEL

No entanto, quando confrontados com a possibilidade de participação na iniciativa ECO-escolas/Compostagem no ISEL, ainda se verifica uma percentagem elevada (45%) de respostas negativas (Figura 7.6).

Qual a razão pela qual não está interessado em participar na Compostagem no ISEL?

24 respostas

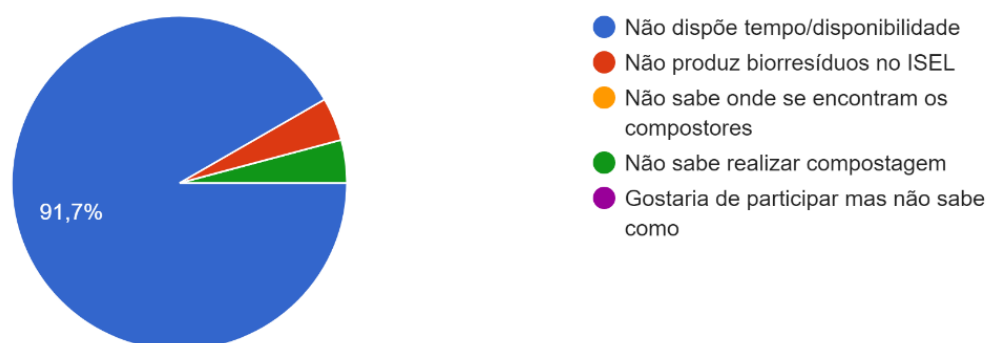


Figura 7.7-Respostas à pergunta nº 8 do Inquérito Compostagem no ISEL

A justificação dada pelos inquiridos para a falta de interesse/participação na compostagem no ISEL (Pergunta 7.7) prende-se maioritariamente com o facto de 90% dos utilizadores não disporem de tempo/disponibilidade para o efeito,

possivelmente porque associam esta prática a um processo moroso e que exige disponibilidade.

Já alguma vez participou na compostagem do ISEL colocando biorresíduos num dos compostores existentes no Campus?

44 respostas

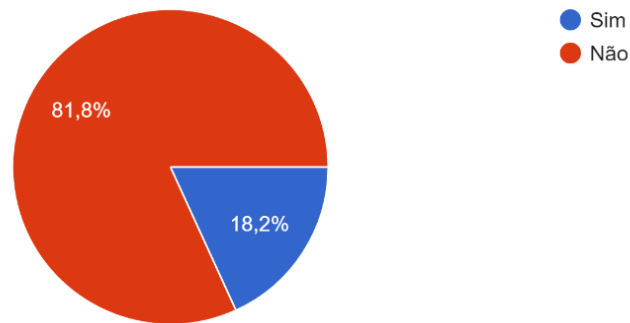


Figura 7.8-Respostas à pergunta nº 9 do Inquérito Compostagem no ISEL

A maioria dos entrevistados (86%), à data de realização do inquérito, nunca tinha colocado biorresíduos num dos compostores existentes no campus, conforme evidenciado na Figura 7.8, esperando-se que, com esta iniciativa, essa realidade venha a ser alterada.

Quais dos seguintes resíduos se podem colocar num compostor doméstico? (pode escolher mais do que uma opção)

44 respostas

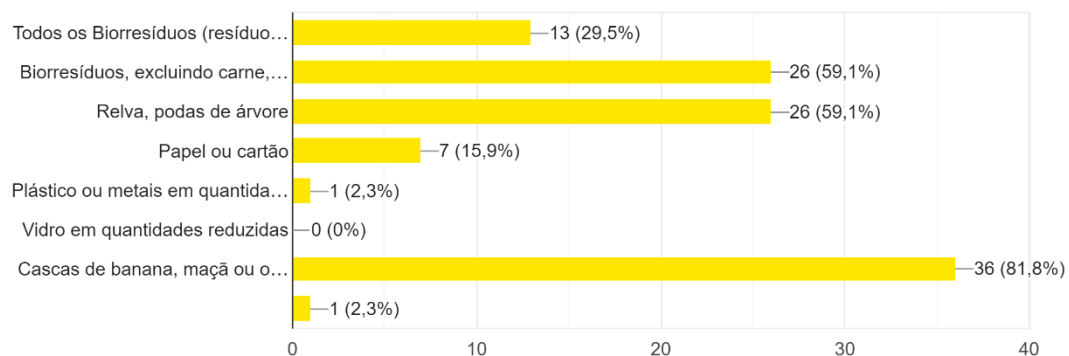


Figura 7.9-Respostas à pergunta nº 10 do Inquérito Compostagem no ISEL

Relativamente aos conhecimentos sobre a temática da compostagem, e conforme descrito na Figura 7.9, apenas 29,5% dos inquiridos ainda acredita que pode colocar qualquer biorresíduo num compostor doméstico, não considerando o impacto que restos de carne ou de peixe terão no processo de compostagem,

conforme referido nas ações de formação cedidas. Por outro lado, é animador verificar a elevada percentagem de inquiridos que está devidamente informado quanto ao tipo de resíduos que se podem colocar num compostor.

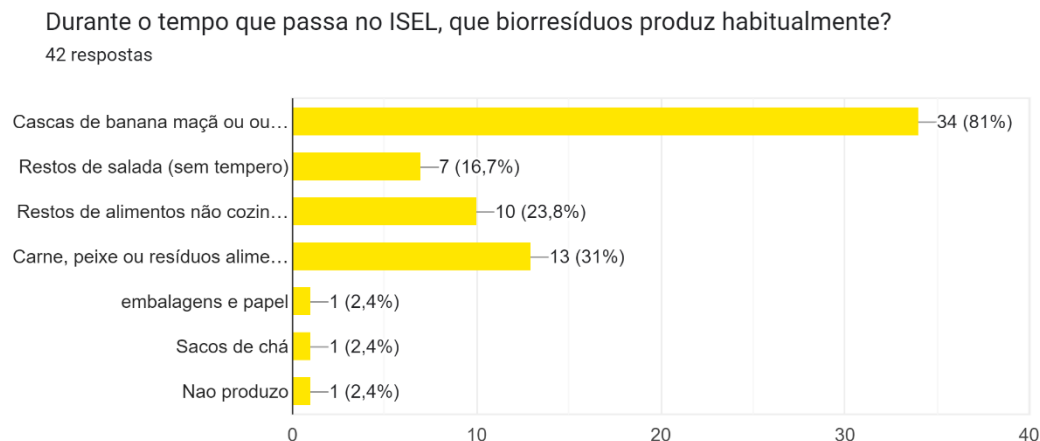


Figura 7.10-Respostas à pergunta nº 11 do Inquérito Compostagem no ISEL

Na Figura 7.10, verifica-se que 81 % dos inquiridos produz cascas de fruta e 17% produz restos de salada (sem tempero). Estes resíduos são válidos para a colocação nos compostores domésticos presentes no ISEL, se bem que, em termos de volume, constituem uma pequena fração do volume total admissível pelo compostor (380 L).

Quantos compostores já encontrou no ISEL

44 respostas

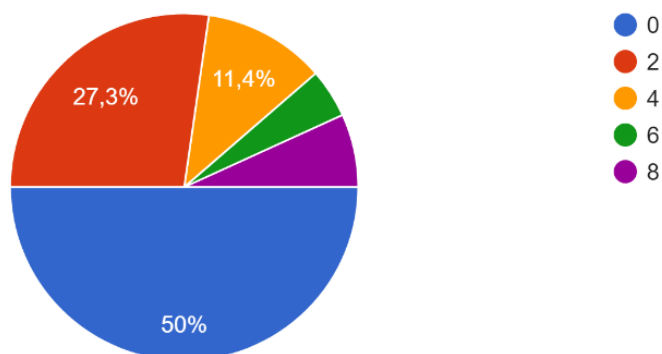


Figura 7.11-Respostas à pergunta nº 12 do Inquérito Compostagem no ISEL

Metade dos inquiridos refere nunca ter encontrado nenhum compostor no ISEL e apenas 9% já validou a existência dos oito compostores presentes no campus (Figura 7.11). Este facto prende-se possivelmente pela necessidade de

colocação dos compostores em locais resguardados de condições atmosféricas adversas, o que implica em alguns casos, que os mesmos não se encontram perfeitamente visíveis à população do ISEL, em geral. Neste sentido, a colocação de sinais de identificação ou até a afixação de posters na proximidade do compostor pode representar uma solução para o problema.

Ao envolver os alunos, docentes e não docentes, em inquéritos sobre compostagem doméstica, é possível identificar desafios específicos que eventualmente surjam durante o processo de implementação. Por exemplo, a falta de conhecimento sobre os benefícios da compostagem ou a falta de infraestrutura adequada, mostraram ser obstáculos que podem ser abordados por meio de programas educacionais e investimentos em instalações de compostagem.

## 7.2 Ensaio de compostagem

### 7.2.1 Altura da pilha de Compostagem

Ao longo do tempo, a altura da pilha de compostagem sofreu variações que refletiram as diferentes fases do processo de decomposição. Em geral, observou-se que a altura da pilha de compostagem aumentou ao longo do tempo, com algumas variações entre os diferentes compostores. Alguns compostores apresentaram um aumento mais gradual, enquanto outros exibiram um aumento mais rápido. Além disso, alguns compostores mantiveram a altura estável após atingir um determinado nível, enquanto outros continuaram a aumentar a altura da pilha.

No ensaio 1 (Tabela 7.1), a altura da pilha do Comp1 manteve-se abaixo dos 10 cm nos primeiros 20 dias. Entre os dias 40 e 60, a altura aumentou rapidamente, chegando aos 30 cm. A partir do dia 60, a altura estabilizou-se nos 50 cm até ao dia 100. Nos últimos 40 dias, a altura continuou a aumentar, atingindo os 70 cm no final.

No caso do Comp3, nos primeiros 20 dias a altura da pilha também se manteve abaixo dos 10 cm. Entre os dias 40 e 80, a altura aumentou gradualmente,

chegando aos 30 cm. A partir do dia 100, a altura começou a diminuir, atingindo os 20 cm no final.

Relativamente ao Comp5, nos primeiros 40 dias a altura da pilha manteve-se abaixo dos 10 cm. Entre os dias 60 e 100, a altura aumentou gradualmente, chegando aos 30 cm. Nos últimos 40 dias, a altura continuou a aumentar, atingindo os 50 cm no final.

No que diz respeito ao Comp7, nos primeiros 20 dias a altura da pilha manteve-se abaixo dos 10 cm. Entre os dias 40 e 80, a altura aumentou gradualmente, chegando aos 60 cm. A partir do dia 100, a altura estabilizou-se nos 60 cm.

Finalmente, o Comp8 apresentou um aumento mais rápido da altura da pilha e a maior altura registada. Nos primeiros 20 dias, a altura manteve-se abaixo dos 10 cm. Entre os dias 40 e 80, a altura aumentou rapidamente, chegando aos 70 cm. A partir do dia 80, a altura estabilizou-se nos 80 cm.

O Comp8 apresentou a maior altura final, atingindo 80 cm, enquanto o Comp1 chegou a 70 cm, o Comp5 a 50 cm, o Comp7 a 60 cm e o Comp3 a 20 cm. O Comp 8, localizado perto da residência de estudantes Maria Beatriz, teve neste ensaio, uma forte adesão por parte dos alunos e docentes.

O Comp8 e o Comp1 exibiram um aumento mais rápido da altura, enquanto o Comp3, Comp5 e Comp7 apresentaram um aumento mais gradual.

O Comp3 foi o único a apresentar uma diminuição da altura após atingir o valor máximo. Neste compostor, foram depositados sacos de plástico, o que inviabilizou a continuidade do processo de compostagem levando a uma compactação dos resíduos possivelmente por falta de revolvimento

Tabela 7.1-Altura da pilha de compostagem ao longo do tempo nos Comp1, Comp3, Comp5, Comp7 e Comp8 no ensaio 1

Tempo (d)	20	40	60	80	100	120	140	160
Nº Compostor	Altura da pilha (cm)							
Comp1	<10	20	30	30	50	50	60	70
Comp3	<10	10	20	20	30	20	20	-
Comp5	<10	<10	20	20	30	30	40	50
Comp7	<10	10	20	40	60	60	50	50
Comp8	<10	15	40	70	70	70	80	80

No ensaio 2 (Tabela 7.2), o Comp1, nos primeiros 29 dias apresentou uma altura da pilha abaixo dos 10 cm. Entre os dias 70 e 105, a altura aumentou rapidamente, chegando aos 30 cm. Posteriormente, entre os dias 124 e 157, a altura diminuiu gradualmente, atingindo novamente os 30 cm. Nos últimos 23 dias, a altura manteve-se estável nos 30 cm.

Relativamente ao compostor 4 (Comp4), nos primeiros 7 dias a altura da pilha manteve-se nos 15 cm. Entre os dias 22 e 87, a altura aumentou rapidamente, atingindo os 80 cm. A partir do dia 87, a altura manteve-se estável nesse valor até que, nos últimos 23 dias, diminuiu gradualmente, chegando aos 50 cm.

No que diz respeito ao compostor 6 (Comp6), nos primeiros 22 dias a altura da pilha manteve-se abaixo dos 20 cm. Entre os dias 66 e 124, a altura aumentou rapidamente, chegando aos 60 cm. Nos últimos 56 dias, a altura diminuiu gradualmente, atingindo os 50 cm.

A maior altura registada foi no Comp4, atingindo 80 cm entre os dias 87 e 124, enquanto o Comp1 e o Comp6 atingiram alturas máximas de 50 cm e 60 cm, respetivamente. Isto deve-se ao facto de ser diariamente utilizado na preparação de refeições para alunos, docentes e não docentes.

O Comp1 apresentou uma variação mais suave na altura, com um aumento gradual seguido de uma diminuição também gradual. Este compostor foi utilizado

maioritariamente por alunos, com menor frequência e quantidade no que concerne à deposição de resíduos. Já o Comp4 e o Comp6, localizados na proximidade da cantina SASIPL e bar do estudante, exibiram um aumento mais rápido da altura, seguido de uma diminuição gradual.

O Comp6 manteve a altura abaixo dos 20 cm nos primeiros 22 dias, enquanto o Comp1 e o Comp4 apresentaram alturas iniciais maiores. No Comp4, foi verificada uma estabilização da altura da compostagem nos 80 cm aos 80 dias devido à deposição de caules e raízes de couves, que dificultaram o processo de compostagem (Figura 7.12)

Tabela 7.2-Altura da pilha de compostagem ao longo do tempo nos compostores Comp1, Comp4 e Comp6 no ensaio 2

Tempo (d)	1	7	22	29	66	70	80	87	105	124	129	146	152	157	167	180
Nº Compostor	Altura da pilha (cm)															
Comp1	<10	<10	<10	<10	<10	<10	20	30	30	50	40	40	40	30	30	30
Comp4	15	15	40	70	70	70	80	80	80	80	80	80	80	60	60	50
Comp6	<10	<10	20	20	20	20	20	20	20	60	60	60	50	50	50	50



Figura 7.12-Pilha de compostagem no Comp4, durante o ensaio 2 com caules e raízes

### 7.2.2 Humidade

A determinação do teor de humidade foi efetuada recorrendo ao teste esponja, o que permitiu um controlo mais realista à semelhança do praticado na compostagem doméstica.

O comportamento da humidade ao longo do ensaio, com medições em diferentes dias e condições de humidade é apresentado na Tabela 7.3. As condições variaram de “muito húmido com escorrência” a “muito seco sem aparente atividade”. De uma forma global, a humidade apresentou-se adequada, no entanto, nos meses mais secos, foi pontualmente necessária a adição de água e, nos meses mais húmidos, a mistura de terra seca, de forma a evitar problemas como a compactação excessiva, a formação de zonas anaeróbias assim como a perda de nutrientes essenciais.

Tabela 7.3-Teor de humidade ao longo do tempo no ensaio 1 nos Comp1; Comp3; Comp5; Comp7; Comp8



No caso do Comp1 (Tabela 7.3), nos primeiros 30 dias a humidade manteve-se na faixa adequada (verde). Entre os dias 40 e 80, a humidade aumentou, ficando na faixa húmida (azul claro), baixando, de seguida para um nível adequado até aos 120 dias, seco dos 120 aos 140 dias e adequado novamente até ao final do ensaio.

Relativamente ao Comp3, nos primeiros 80 dias a humidade manteve-se na faixa adequada (verde). Entre os dias 80 e 150, a humidade diminuiu, ficando na faixa seca (amarelo). A partir do dia 150, não foram retiradas mais amostras deste compostor.

No que diz respeito ao Comp5, nos primeiros 50 dias a humidade manteve-se na faixa adequada (verde). Entre os dias 60 e 80, a humidade aumentou, ficando na faixa húmida (azul claro). A partir do dia 100 até ao final do ensaio a humidade

diminui progressivamente atingindo a gama de muito seco, nos meses de maior calor (agosto-setembro).

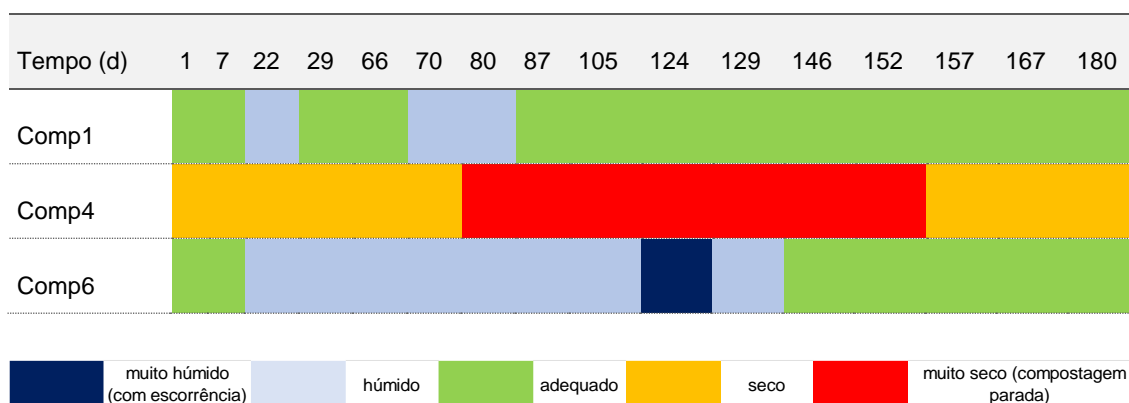
Relativamente ao Comp7, nos primeiros 20 dias a humidade manteve-se na faixa adequada (verde). Entre os dias 40 e 100, a humidade aumentou, ficando na faixa húmida (azul claro). A partir do dia 100, a humidade diminuiu intercalando o estado seco e adequado até ao final do ensaio.

Finalmente, no caso do Comp8, nos primeiros 60 dias a humidade manteve-se na faixa adequada (verde). Entre os dias 60 e 80, a humidade aumentou para faixa húmida (azul claro). A partir do dia 100, a humidade diminuiu, acabando por estabilizar na faixa adequada.

De forma geral, observa-se que nos primeiros estágios do processo de compostagem (até aproximadamente 30 dias), a humidade manteve-se na faixa adequada (verde) para todos os compostores. Entre os dias 40 e 100, a humidade aumentou, ficando na faixa húmida (azul claro) para a maioria dos compostores. Nos últimos estágios (a partir de 120 dias), a humidade diminuiu, chegando à faixa seca (amarela) para todos os compostores. O Comp 1 e o Comp8 apresentaram uma humidade mais estável, mantendo-se maioritariamente na faixa adequada (verde) durante todo o período.

Relativamente ao segundo ensaio (Tabela 7.4), no Comp1, a humidade apresentou-se no geral adequada, indicando boas condições de compostagem. Nos primeiros 20 dias a humidade manteve-se na faixa adequada (verde). Entre os dias 22 e 29, a humidade aumentou, ficando na faixa húmida (azul claro). A partir do dia 87, houve uma diminuição gradual até à semana cinco, onde a humidade se estabilizou em um nível “adequado” (verde).

Tabela 7.4-- Teor de humidade ao longo do tempo no ensaio 2 nos Comp1; Comp4; Comp6



O Comp4, por outro lado, iniciou o ensaio com baixa humidade (amarelo), existindo necessidade de rega do compostor diversas vezes, ao longo do tempo. Este facto deveu-se muito provavelmente à presença de caules e raízes de couves no compostor que dificultaram bastante a compactação da massa de resíduos e, desta forma, mesmo com a rega do compostor e adição de resíduos alimentares, a massa de resíduos apresentava espaços vazios de grande dimensão, acabando por se verificar a escorrência de água para o solo. Segundo Azim *et al.* (2018), valores baixos de humidade, podem precisamente levar a uma desaceleração do processo de compostagem (Figura 38).

O Comp6 foi o que apresentou maior índice de humidade. Iniciou o processo de compostagem com percentagem de humidade adequada, no entanto, dada a grande massa de resíduos presente no compostor e baixo revolvimento, verificou-se um aumento de humidade ao longo do tempo, tendo existido escorrência de lixiviado ao dia 124 (Figura 7.13) para o espaço circundante ao compostor, com libertação de odor desagradável. Neste caso em particular, existiu a necessidade de aplicar terra como corretor do nível de humidade e odor, assim como o revolvimento, com maior frequência.



Figura 7.13 - Escorrência de lixiviado no Comp6 resultante de teor de humidade excessiva

### 7.2.3 Temperatura

A temperatura da pilha assumida representa a média das cinco medições (ver capítulo (6.2.2), sendo os resultados de temperatura analisados nos compostores do ISEL, no decorrer dos ensaios de compostagem apresentados a seguir.

O ensaio 1 teve início no dia 01 de março de 2022, com a instalação dos compostores e início de deposição de resíduos nos mesmos, no mesmo dia, à exceção do Comp8 que só foi instalado no dia 01 de maio. No ensaio 1, foi efetuada a medição da temperatura ao dia 88 (Figura 7.14) e dia 103 (Figura 7.15) da compostagem.

O Comp 1 e o Comp3 apresentam uma curva de temperatura relativamente estável, com valores oscilando entre 20°C e 30°C no dia 88 e valores na ordem dos 20°C a 25°C no dia 103.

Em contraste, o Comp7 e Comp8 exibe uma variação mais acentuada na temperatura variando entre 25°C e 40°C no dia 88 e entre 20°C e 33°C no dia 103.

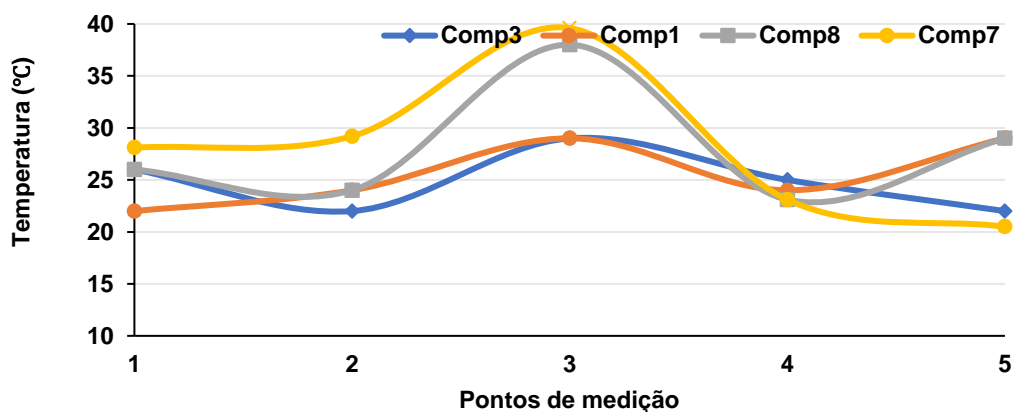


Figura 7.14-Temperatura máxima registada no dia 88 no ensaio 1

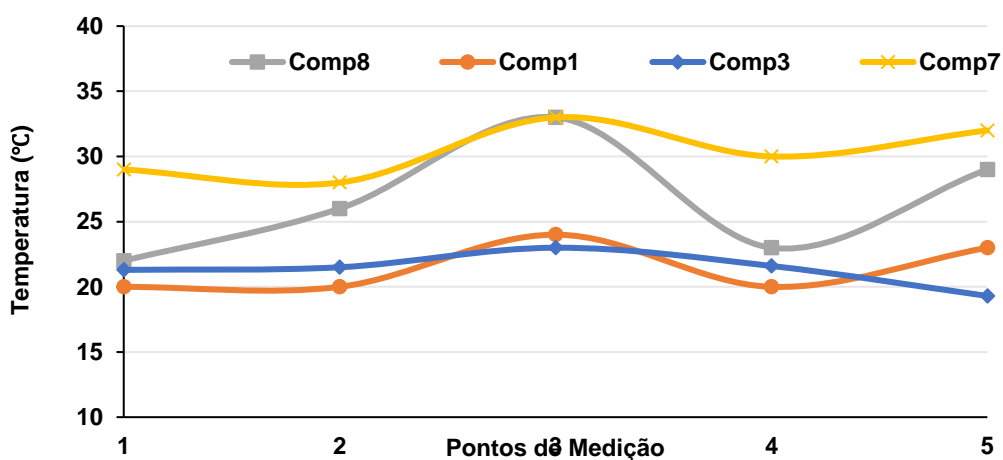


Figura 7.15-Temperatura máxima registada no dia 103 no ensaio 1

O ensaio 2 (Figuras 7.16 e 7.17) teve início no mês de janeiro com uma temperatura média de 16° C e, no fim no mês de junho, com uma temperatura média de cerca 25 °C. A temperatura mais alta registada durante o ensaio nº 2 foi medida no ponto central do compostor e registou o valor de 35 °C no dia 152, já perto do final do ensaio para o Comp4. Esta temperatura fica no entanto aquém da necessária para a desinfeção adequada, que deve ser acima de 55°C, conforme descrito por (Meena *et al.*, 2021).

Seguindo o perfil evolutivo da temperatura dos compostores em estudo, verifica-se um pico de temperatura ao sétimo dia para os Comp4 e comp6. Este pico coincide com a presença de atividade microbiana, conforme referido por (Abdalla *et al.*, 2014). No início da compostagem, passadas algumas horas ou alguns dias, após a adição de resíduos, verifica-se um aumento da temperatura. A existência de pequenos picos na temperatura confirma-se ao longo do ensaio, como resultado da alimentação semanal do compostor.

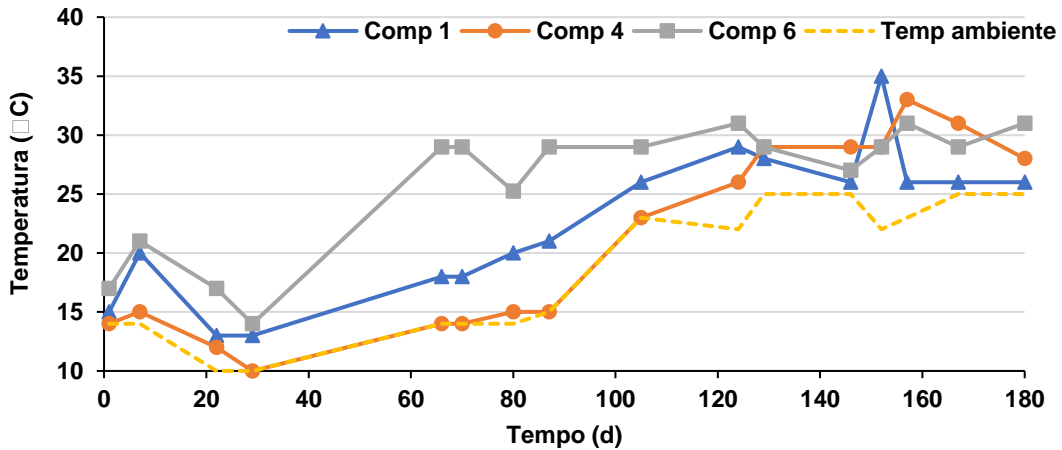


Figura 7.16-Temperatura máxima registada ao longo do ensaio de compostagem nº 2

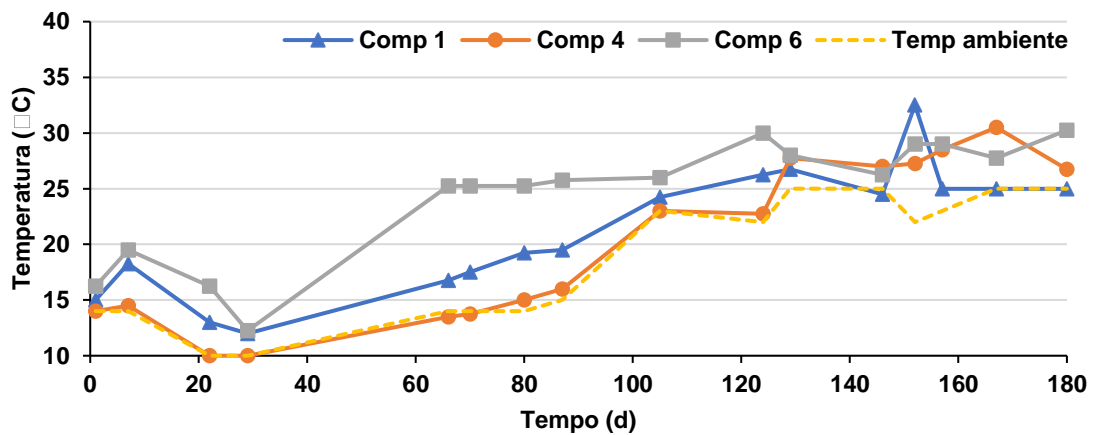


Figura 7.17-Temperatura média registada nos compostores ao logo do ensaio de compostagem nº 2

O comportamento da temperatura é crescente ao longo do ensaio, justificada pelo aumento do volume de resíduos depositado. O Comp4 apresenta, no entanto, uma temperatura semelhante à temperatura ambiente até ao dia 110 da compostagem, possivelmente relacionado com a presença de caules e raízes de couves e respetiva dificuldade de degradação pelos microrganismos. Do dia 110 até ao final do ensaio, verificou-se um aumento progressivo da temperatura relativamente à temperatura ambiente até aos 150 dias, sendo posteriormente observado um arrefecimento gradual dos biorresíduos em compostagem em todos os compostores.

Tendo em conta que a massa de resíduos existente até aos 60 dias era insuficiente para se atingirem temperaturas suficientes ao início do processo de

compostagem, foi a partir do dia 60 que se iniciou a fase ativa de decomposição da matéria orgânica, com temperaturas na ordem dos 30°C para o Comp6, tendo possivelmente entrado na fase *mesófila*. Este compostor, afeto aos resíduos provenientes da cantina, teve, desde o início do processo, uma massa de resíduos superior aos restantes. Desta forma, o processo de compostagem foi aparentemente mais rápido neste primeiro, relativamente aos restantes.

Para os restantes compostores o atingimento de temperaturas na ordem dos 30°C verificou-se numa fase, mas tardia, a partir dos 120 dias de compostagem.

As diferenças na variação da temperatura registadas entre os compostores podem estar relacionadas com diversos fatores, nomeadamente a composição do material de compostagem, a taxa de decomposição e a fase de compostagem em que se encontram

Em nenhum dos ensaios foi registada uma temperatura superior a 45 °C, para que ocorra a substituição dos microrganismos mesófilos pelos microrganismos termófilos, conforme descrito por (Azim *et al.*, 2018). Este facto deveu-se possivelmente a dois fatores preponderantes: conforme descrito por Storino *et al.* (2016) e Smith & Jasim (2009) a temperatura registada em compostores domésticos fica frequentemente aquém da temperatura termófila pretendida, dado o pequeno volume de resíduos. Também porque os compostores domésticos foram alimentados apenas com resíduos vegetais, e de acordo com Storino *et al.* (2016), nos seus estudos, verificou-se que compostores com carne atingiram temperaturas superiores.

O segundo fator prende-se com a temperatura exterior, tendo em conta o volume, e que os primeiros meses do ensaio foram realizados nos meses mais frios do ano (janeiro a abril), isso terá contribuído, provavelmente, para a temperatura nas camadas mais externas do compostor ser mais baixa, influenciando a temperatura média registada.

#### 7.2.4 Determinação de pH

De uma forma global o pH apresentou-se adequado, no entanto, nos meses mais secos, foi pontualmente necessária a adição de água e, nos meses mais húmidos, a mistura de terra seca, de forma a evitar problemas como a

compactação excessiva, a formação de zonas anaeróbias assim como a perda de nutrientes essenciais.

No ensaio 1, no dia 88 de compostagem, O Comp1 e o Comp8 apresentam os valores de pH mais elevados, aproximando-se de 9. Em contraste, os Comp3, e Comp7 exibem valores de pH mais baixos, na ordem dos 6.

Já o Comp5 apresenta um pH intermediário, na ordem dos 7, demonstrando uma condição mais neutra em comparação aos outros compostores (Figura 7.18).

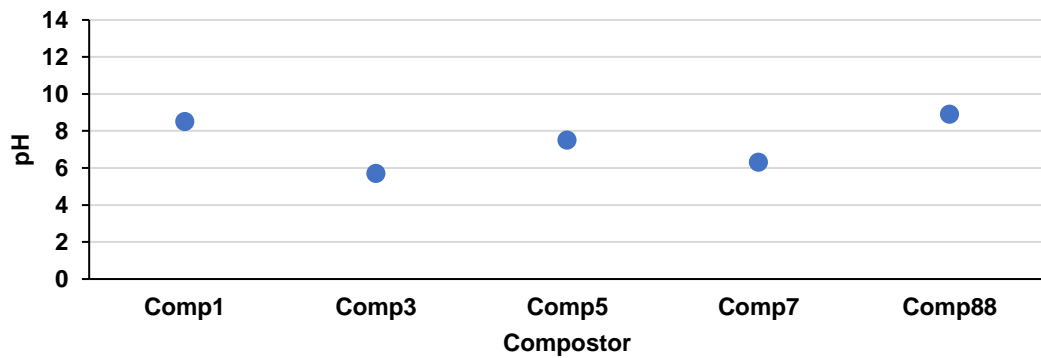


Figura 7.18-pH registrado no dia 88 do ensaio 1

A variação do pH do Comp1 ao longo do tempo, durante o ensaio 1 é apresentado na Figura 7.19. Pode-se observar que à medida que o tempo aumenta, o pH do Comp1 apresenta baixa variação, mantendo-se na ordem dos 8.

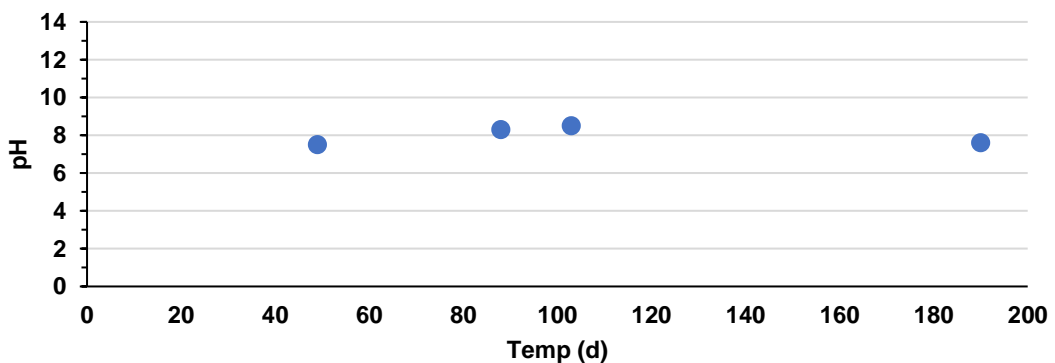


Figura 7.19-Variação de pH no Comp1 no ensaio 1

A variação do pH do Comp8 ao longo do tempo, durante o ensaio 1 é apresentado na Figura 7.20. Pode-se observar que à medida que o tempo

aumenta, o pH do Comp8 varia entre 7 e 9, apresentando valores superiores ao do Comp1 para o mesmo período.

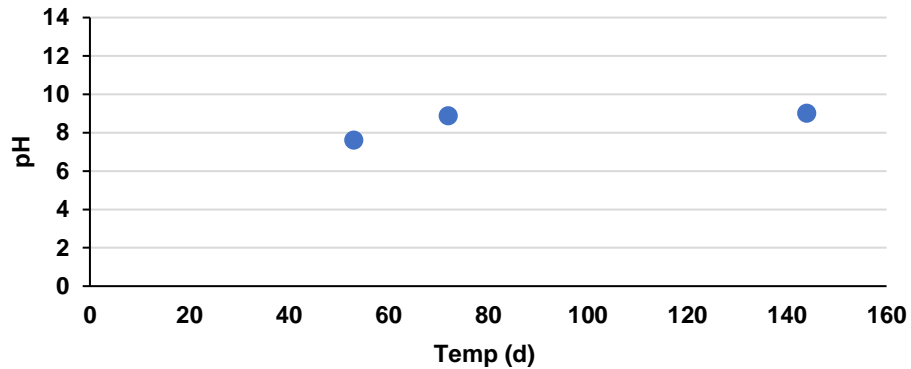


Figura 7.20-Variação de pH no Comp8 no ensaio1

No ensaio 2 (Figura 7.21), a gama típica de valores que o pH atingiu ao longo de todo o processo, variou entre 4 a 9. Para o Comp6, o valor mais baixo de pH foi atingido aos cerca de 80 dias, o que coincide com o pico de temperatura registado, indicativo de um aumento da atividade microbiana.

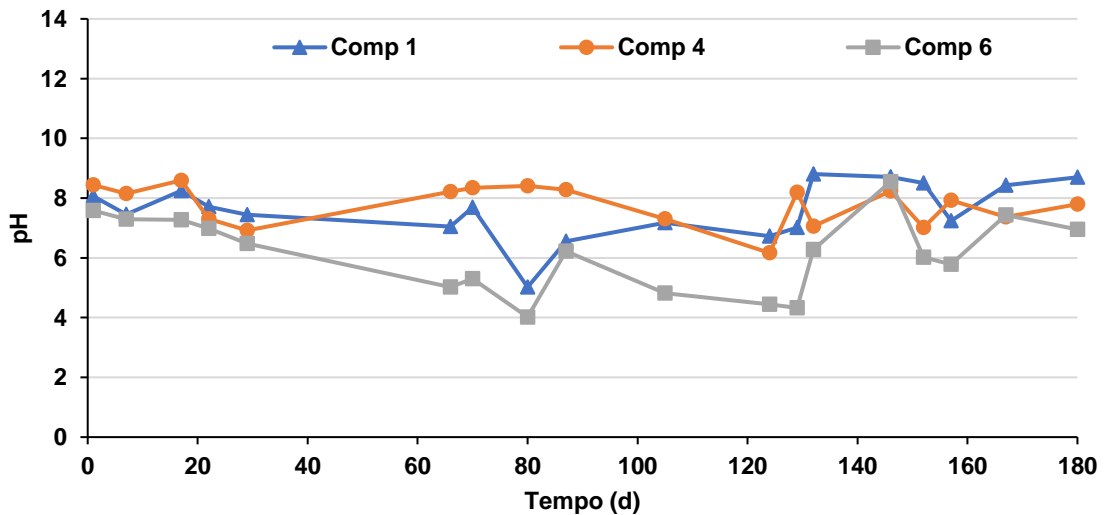


Figura 7.21-Variação de pH ao longo do ensaio 2 de compostagem

O comportamento do Comp1 foi relativamente constante até aos 60 dias de compostagem. A partir deste ponto, verificam-se um ligeiro aumento de pH, seguido de um abaixamento considerável para a ordem das 5 unidades. Conforme descrito por Diaz & Savage (2007), no início do processo de compostagem, verifica-se uma diminuição de pH até 5.0, como consequência da

atividade das bactérias formadoras de ácido que decompõem o material rico em carbono e em ácidos orgânicos.

O Comp4, por outro lado, apresentou o seu valor mais baixo de pH no dia 120, coincidindo com o pico de temperatura para este compostor.

No final do processo, o pH tende a estabilizar na ordem dos 8,0-8,5 (Diaz & Savage, 2007).

O compostor que apresentou uma gama de pH mais baixo foi o Comp6 e o valor mais elevado foi o do Comp4. Estes resultados vão ao encontro do descrito pelos autores *Adhikari et al. (2012)*, onde o compostor com maior percentagem de resíduos alimentares apresentou o pH mais ácido na ordem dos 5 e os compostores com maior percentagem de resíduos provenientes da manutenção de jardins (materiais mais secos) apresentaram um pH ligeiramente superior na ordem de 7,2 e 6,8, respetivamente.

Relativamente aos valores de pH obtidos de amostras individuais de resíduos verificou-se que os citrinos apresentavam valores mais baixos de pH (Tabela 7.5). Estes valores podem também influenciar a diferença registada entre os Comp1 e Comp6 relativamente ao Comp4, uma vez que, neste último, não foi depositado qualquer resíduo de fruta.

Tabela 7.5- pH de amostras individuais de resíduos

Amostra	Valor médio pH
Laranja	5
Limão	3
Pêssego	5
Banana	6
Pêra	6

### 7.2.5 Sólidos totais, voláteis e fixos

O teor de sólidos totais e sólidos totais voláteis ao longo dos ensaios foi bastante variado para cada compostor.

No ensaio 1, no dia 139, os diferentes compostores apresentaram valores variados de ST, STV e STF, indicativo das diferentes fases de compostagem em que se localizavam (Figura 7.22). O Comp8 apresentava valores semelhantes ao Comp1, uma vez que se encontravam na mesma localização com tipologias de resíduos semelhantes.

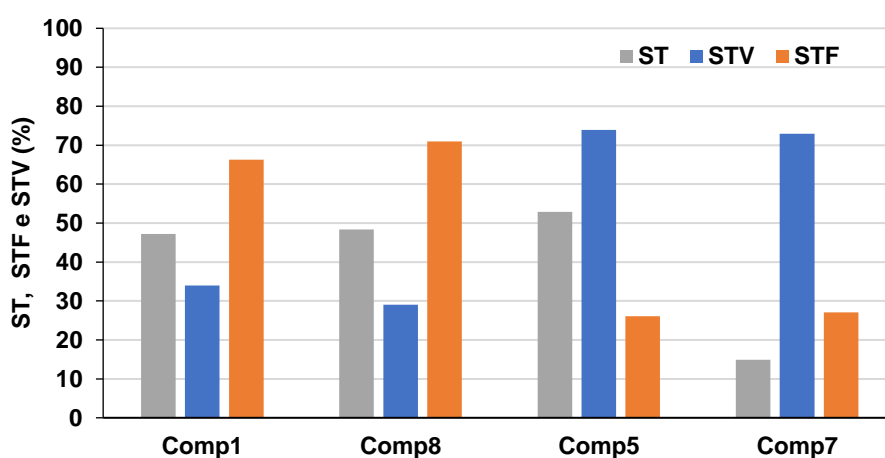


Figura 7.22-Percentagem de ST, STV, STF no dia 103 para os diferentes compostores no ensaio 1

Quanto aos valores de ST, STV e STF, no dia 139, da compostagem e final do processo (composto final), verifica-se uma diminuição de sólidos voláteis no composto final, relativamente ao dia intermédio e, inversamente, uma maior proporção de sólidos totais fixos, no final do processo, comparativamente à fase intermédia (Figuras 7.23 a 7.25).

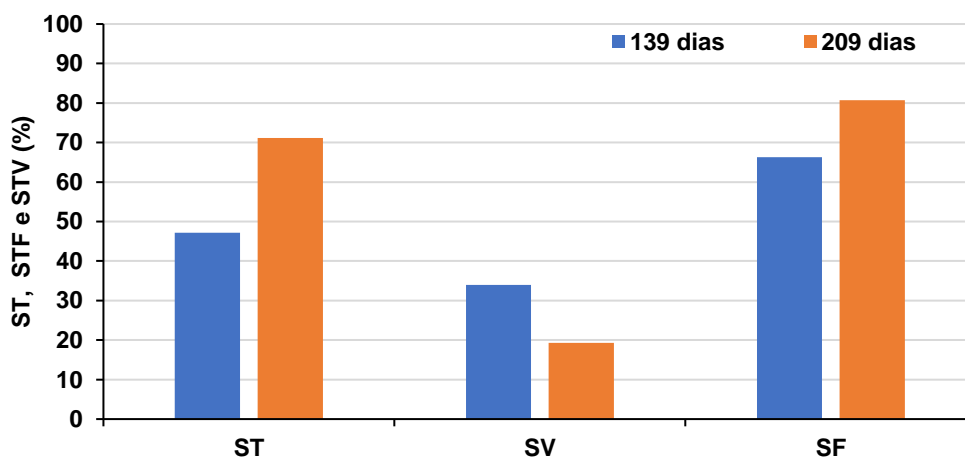


Figura 7.23-Percentagem de ST, STV e STF do Comp1 do ensaio1

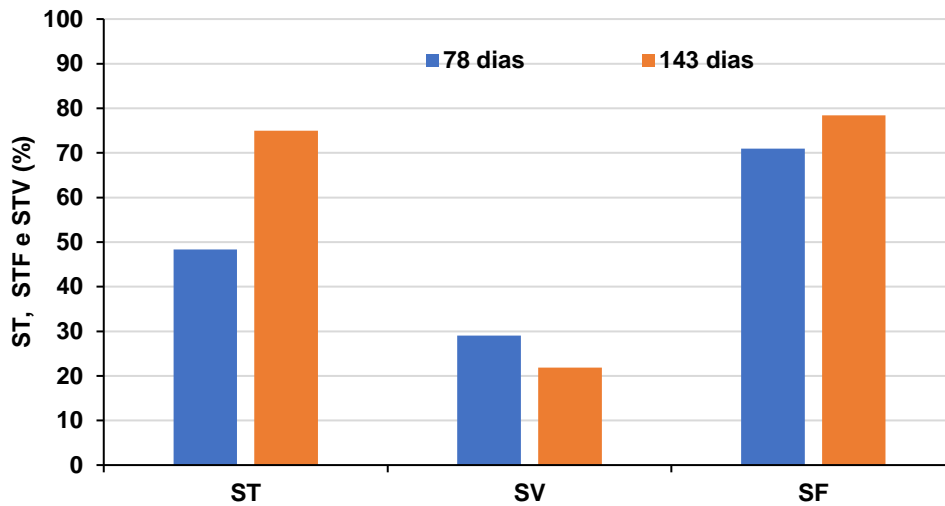


Figura 7.24-Percentagem de ST, STV e STF do Comp8 do ensaio1

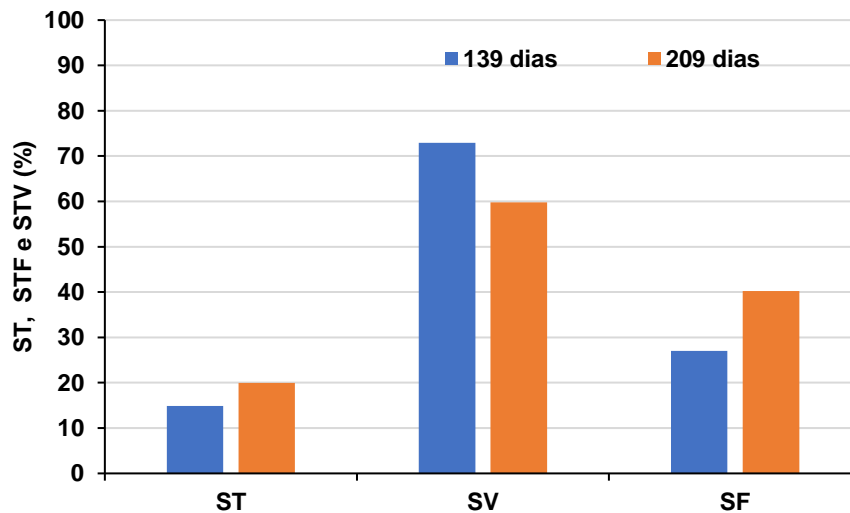


Figura 7.25-Percentagem de ST, STV e STF do Comp7 do ensaio1

No ensaio 2, o Comp4 e Comp6 apresentaram maior teor de ST e SV (Figura 7.26 e 7.27). Uma vez que a supervisão foi efetuada em simultâneo com a deposição sucessiva de resíduos até ao final do processo, não se verifica uma diminuição progressiva dos ST e STV, mas sim picos, após a adição de resíduos, seguidos de diminuições resultantes da atividade microbiana. Desta forma, verifica-se a existência de valores de STV acima de 60%, que segundo Shilev *et al.*, 2007, são indicativos de matéria orgânica fresca, não degradada (Figura 7.27).

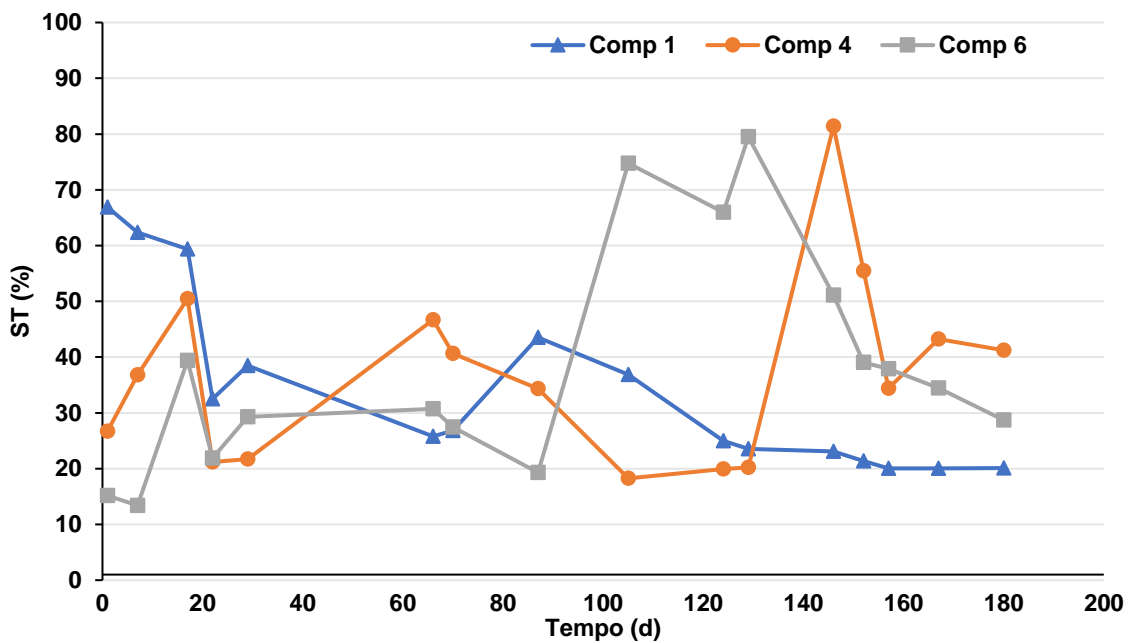


Figura 7.26-Percentagem de sólidos totais ao longo do ensaio 2 de compostagem

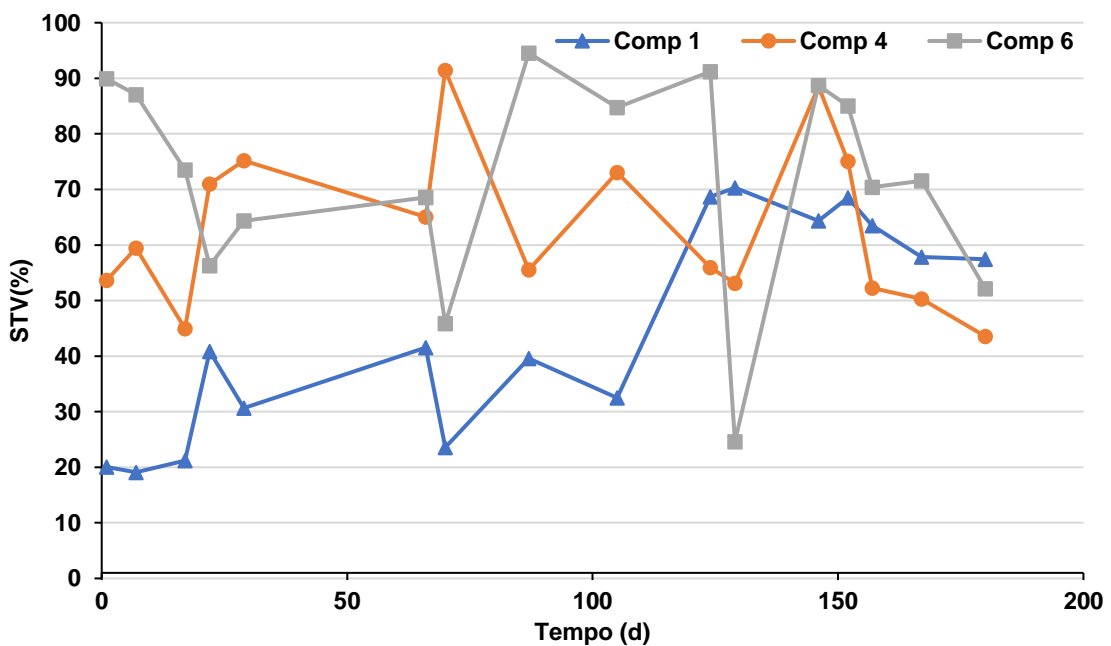


Figura 7.27-Percentagem de sólidos totais voláteis ao longo do ensaio 2 de compostagem

O Comp1 iniciou o ensaio praticamente sem resíduos o que implica que as amostras retiradas deste tivessem uma elevada percentagem de terra, razão pela qual os resultados indicam uma elevada percentagem de ST, mas baixa percentagem de SV durante as primeiras semanas da compostagem. Segundo Shilev *et al.* (2007), valores baixos (menos de 30%) indicam normalmente que a matéria orgânica foi misturada com areia ou solo.

O Comp6, por outro lado, iniciou o processo de compostagem já com alguns resíduos, o que terá influenciado os resultados iniciais, na medida em que este compostor teria já bastante matéria orgânica fresca, ou seja, com elevado teor de humidade, o que pode justificar a baixa percentagem de ST e elevada percentagem de SV no início do processo. A partir do dia 100, verifica-se um aumento do teor de ST resultante da adição de uma grande quantidade de resíduos. Relativamente aos SV, foi observada uma diminuição progressiva a partir deste dia. Não obstante, verifica-se um valor bastante baixo no dia 129, possivelmente relacionado com a recolha de uma amostra com maior percentagem de terra, derivada da correção de humidade efetuada no dia 124.

O Comp4 teve maior quantidade de resíduos provenientes da manutenção da horta do estudante, nomeadamente folhas e caules de vegetais, cascas de batata e cenoura e algumas raízes. Por esta razão, verifica-se um valor, em média, mais baixo de sólidos totais.

#### 7.2.6 Contaminantes, Pragas e Odores

Ao longo dos ensaios, foram identificados diversos contaminantes nos compostores (Figura 7.28 a) – 7.28 d)). A maioria dos contaminantes foi verificada no Comp6, possivelmente relacionado com a diversidade dos funcionários afetos à cantina que preparam as refeições. Foram detetados contaminantes variados, como pequenas etiquetas de fruta, sacos de plástico, mistura de papel com plástico, carne, espinhas de peixe, invólucros de produtos perigosos para o ambiente e facas de cozinha. De forma a solucionar esta questão foi realizada uma ação de sensibilização à comunidade do ISEL, com afixação de cartazes junto dos compostores, com o que se deve e não deve colocar dentro dos mesmos.



a)



b)



c)



d)

Figura 7.28-Contaminantes nos ensaios de compostagem: a) plásticos no Comp3 no ensaio 1; b) invólucro de produto perigoso para o ambiente no ensaio 1; c) plásticos no Comp6 no ensaio 2; d) papel plastificado e carne no Comp6 no ensaio 2

Relativamente à presença de odores desagradáveis durante o ensaio, apenas foi registada no Comp6. Esta questão pode ainda estar relacionada com a deposição excessiva de resíduos alimentares, comparativamente aos resíduos de manutenção do jardim. Segundo Zhan *et al.*, 2021, esta questão pode ser justificada pela razão C/N baixa, que por sua vez pode levar a uma perda de

azoto por volatilização e, desta forma, provocar a emissão de odores indesejados.

Por outro lado, a deposição de resíduos de carne e peixe pode resultar também na emissão de odores desagradáveis e na presença de pragas.

Foram registados insetos como formigas e moscas na proximidade do Comp1, e Comp6, no entanto, neste último, foi ainda verificada a presença de ratos. Para ambos, foi efetuada a adição de terra e revolvimento da mistura, tendo afastado as pragas registadas nos dois.

## **8 Conclusões e Perspetivas de Trabalhos Futuros**

A implementação de compostagem em IES não só contribui para a redução de resíduos, mas também demonstra o compromisso da Instituição com a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental. Este tipo de iniciativas não impacta apenas positivamente o ambiente local, mas também forma uma base sólida para a consciencialização ecológica na comunidade universitária, promovendo práticas sustentáveis extensíveis a toda a sociedade.

No entanto, o processo de implementação apresenta alguns desafios, especialmente no que toca ao envolvimento da comunidade. É necessário suscitar o interesse da comunidade por estas temáticas, apelando à sua consciência ambiental e comunitária.

O inquérito realizado sobre compostagem doméstica no ISEL revelou que 84% dos participantes demonstravam preocupação com as alterações climáticas, no entanto, apenas 4,5% estavam ativamente envolvidos em ações de mitigação. Verificou-se que 81,8% já praticavam separação de resíduos para reciclagem e 22,7% separavam biorresíduos. Aproximadamente 50% identificaram a presença de compostores no campus, porém 86% nunca haviam depositado biorresíduos. A principal barreira à participação identificada, foi a perceção de falta de tempo, associando a compostagem a um processo complexo e moroso. Adicionalmente, apenas 29,5% compreendiam completamente quais resíduos podem ser colocados no compostor.

Os ensaios realizados aos parâmetros físico químicos, revelaram características distintas nos diferentes compostores, diretamente associadas às suas localizações específicas no campus.

No Ensaio 1, a variabilidade na altura das pilhas foi significativa: o Comp8, localizado próximo à Residência de estudantes Maria Beatriz, atingiu 80 cm, enquanto o Comp3 não ultrapassou 20 cm, demonstrando como a frequência de deposição e o envolvimento comunitário influenciam diretamente o processo de compostagem.

O comportamento de teor de humidade seguiu um padrão consistente em ambos os ensaios. Nos primeiros 30 dias, todos os compostores mantiveram níveis adequados, seguidos por um aumento do teor de humidade entre 40-100 dias e subsequente redução para níveis mais secos após 120 dias. O Comp1 e Comp8 evidenciaram maior estabilidade, contrastando com o Comp6, que no Ensaio 2 enfrentou problemas de excesso de humidade, resultando em lixiviação.

Relativamente ao parâmetro temperatura, em nenhum dos ensaios os compostores atingiram a fase termófila (acima de 55°C), com temperaturas a variar entre 20-40°C. Este fenómeno foi atribuído a fatores como volume reduzido de resíduos depositado no compostor e temperaturas externas baixas. No Ensaio 2, observaram-se pequenos picos de temperatura coincidentes com a adição de novos resíduos, especialmente no Comp6.

O pH ideal para a compostagem situa-se entre 6 e 8,5 tendo variado, ao longo dos ensaios, entre 4 e 9. No Ensaio 1, o Comp1 e Comp8 mantiveram valores mais elevados (próximos a 9), enquanto no Ensaio 2, o Comp6 registou os valores mais baixos.

Em termos de ST e SV, cada compostor revelou um perfil diferente. O Comp4, localizado próximo ao bar do estudante e com resíduos predominantemente fibrosos da manutenção da horta, apresentou valores médios de ST mais baixos. A alta concentração de material lenhoso dificultou a decomposição rápida, resultando numa redução mais lenta dos SV.

Por outro lado, o Comp6, situado próximo à cantina, destacou-se pela diversidade de resíduos alimentares. Inicialmente, registou valores elevados de SV, característicos de matéria orgânica fresca. Ao longo do tempo, verificou-se

uma redução progressiva, sugerindo uma decomposição ativa, diretamente relacionada com a natureza nutritiva dos resíduos alimentares.

O Comp8 e Comp1, localizados próximo à Residência de estudantes Maria Beatriz, apresentaram um padrão intermediário. A mistura de resíduos resultou em valores mais equilibrados de ST e SV, com baixa variabilidade, indicando um processo de compostagem mais controlado, ainda que menos dinâmico.

A presença de contaminantes foi particularmente crítica no Comp6, onde se identificaram plásticos, etiquetas e resíduos potencialmente perigosos. Em contraste, o Comp1, apesar da baixa utilização, manteve parâmetros consistentes e menor presença de contaminantes.

No geral, o Comp6 evidenciou os parâmetros mais dinâmicos, aproximando-se de valores de pH entre 4-5, maior temperatura e teor de matéria orgânica. O Comp8 destacou-se pela altura da pilha (80 cm), refletindo o forte envolvimento comunitário, enquanto o Comp1 se caracterizou pela estabilidade dos parâmetros.

A implementação e eficácia do processo da compostagem depende em grande parte da adesão da comunidade. Para que esta faça parte da identidade da instituição, é necessário que seja vista como um benefício e não uma obrigação por parte dos utilizadores. Por outro lado, a automatização dos parâmetros de controle é importante para uma eficaz supervisão dos parâmetros fundamentais ao processo. A análise constante destes parâmetros é essencial para garantir a eficácia do processo de compostagem. No entanto, a existência de um elemento dedicado à manutenção regular dos compostores é igualmente necessária, garantindo que o sistema opere de forma eficiente e contínua. A implementação de mecanismos para o controlo automático dos parâmetros e a supervisão humana para assegurar o bom funcionamento do sistema é essencial para o sucesso do processo, sendo que a sua ausência pode comprometer a viabilidade e a eficácia da compostagem.

Com o objetivo de melhorar a implementação do sistema de compostagem doméstica no ISEL, propõem-se as seguintes perspetivas de trabalhos futuros.

Em primeiro lugar, seria benéfico realizar mais ações de sensibilização e formação direcionadas à comunidade académica do ISEL sobre as boas práticas

de compostagem doméstica. Os resultados do inquérito realizado demonstraram que ainda existe algum desconhecimento por parte dos inquiridos relativamente ao tipo de resíduos adequados para a compostagem.

Adicionalmente, sugere-se melhorar a sinalização e visibilidade dos compostores existentes no campus. Metade dos inquiridos afirmou nunca ter visto os compostores, o que indica a necessidade de implementar medidas para os tornar mais evidentes.

Outra proposta é desenvolver um sistema de monitorização e reporte do processo de compostagem, envolvendo ativamente os utilizadores. Tal abordagem permitiria acompanhar de forma mais eficaz o desempenho dos compostores e identificar problemas de forma mais célere.

Recomenda-se, também, analisar a viabilidade económica da utilização do composto produzido nos jardins e hortas do campus, de modo a incentivar a sua valorização.

Sugere-se, ainda, a realização de estudos comparativos com outras instituições de ensino superior que tenham implementado programas de compostagem, com o objetivo de identificar melhores práticas e lições aprendidas.

De forma a suscitar o interesse da comunidade, poderá ser interessante adotar uma abordagem semelhante à realizada em algumas comunidades da Europa, com a criação de incentivos, como prémios ou descontos académicos em serviços cedidos pelo ISEL, para aqueles que participam na compostagem, ou até criar competições entre faculdades ou departamentos, para ver quem consegue obter melhores resultados na compostagem, oferecendo prémios sustentáveis.

Adicionalmente, sugere-se a realização de ensaios adicionais de compostagem no campus, explorando diferentes abordagens que possam melhorar ainda mais o processo e a qualidade do composto produzido. Algumas propostas incluem:

- Testar compostores de diferentes materiais e dimensões, de modo a avaliar o desempenho de diferentes soluções;
- Utilizar uma maior diversidade de resíduos, incluindo biorresíduos de diferentes origens, para analisar o impacto na compostagem;

- Analisar detalhadamente a qualidade do composto produzido, através de caracterizações físico-químicas e biológicas;
- Estimar a quantidade de biorresíduos produzida no campus, de forma a dimensionar adequadamente o sistema de compostagem.

## Referências Bibliográficas

Adhikari, B. K., Trémier, A., & Barrington, S. (2012). Performance of five Montreal West Island home composters. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 33(21), 2383–2393. <https://doi.org/10.1080/09593330.2012.670267>

Macário, M., Sagatelli, A., Marques, A., Saraiva, A., Figueiredo, D., Reis, J., Brio, L., Saraiva, R., Marques, T., Machado, T., Hernandez, Z., Oliveira, M. (2023). COMPOSTAGEM - Metodologias para a elaboração de um composto de alta qualidade. Instituto Politécnico de Santarém. Retirado de [https://repositorio.ipsantarem.pt/bitstream/10400.15/4723/1/Compostagem\\_BIOMA\\_2023.pdf](https://repositorio.ipsantarem.pt/bitstream/10400.15/4723/1/Compostagem_BIOMA_2023.pdf) (10-10-2024)

Alattar, M. A., Delaney, J., Morse, J. L., & Nielsen-Pincus, M. (2020). Food waste knowledge, attitudes, and behavioral intentions among university students. *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development*, 9(3), 109–124. <https://doi.org/10.5304/jafscd.2020.093.004>

Amlinger, F., Peyr, S., & Cuhls Carsten, C. (2008). Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. *Waste Management and Research*, 26(1), 47–60. <https://doi.org/10.1177/0734242X07088432>

APA (2021). Regras Gerais Para a Compostagem Doméstica De Biorresíduos. Agência Portuguesa do Ambiente. Retirado de [https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_Residuos/Licenciamento/RG%20Compostagem\\_Dom%C3%A9stica\\_APA\\_29JUN2021.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_Residuos/Licenciamento/RG%20Compostagem_Dom%C3%A9stica_APA_29JUN2021.pdf) (07-12-2023)

APA (2023a). RARU Relatório Anual Resíduos Urbanos. Agência Portuguesa do Ambiente. Retirado de

[https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_Residuos/Producao\\_Gest%C3%A3o\\_Residuos/Dados%20RU/RARU\\_2022\\_V1.2.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_Residuos/Producao_Gest%C3%A3o_Residuos/Dados%20RU/RARU_2022_V1.2.pdf) (19-09-2024)

APA (2023b). Planeamento. Agência Portuguesa do Ambiente. (2023b). Retirado de <https://apambiente.pt/residuos/planeamento> (23-05-2023)

APA (2024). Relatório Anual Resíduos Urbanos 2023. Retirado de: [https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_Residuos/Producao\\_Gest%C3%A3o\\_Residuos/Dados%20RU/2023/raru\\_2023.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_Residuos/Producao_Gest%C3%A3o_Residuos/Dados%20RU/2023/raru_2023.pdf) (19-09-2024)

APHA (2017). 2540 Solids. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23th ed.). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.030>

Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., & Thami Alami, I. (2018). Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic Agriculture*, 8(2), 141–158. <https://doi.org/10.1007/s13165-017-0180-z>

Barrena, R., Font, X., Gabarrell, X., & Sánchez, A. (2014). Home composting versus industrial composting: Influence of composting system on compost quality with focus on compost stability. *Waste Management*, 34(7), 1109–1116. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.02.008>

Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., & Favoino, E. (2009). Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27(8), 800-812.

Bruni, C., Akyol, C., Cipolletta, G., Eusebi, A. L., Caniani, D., Masi, S., Colon, J., & Fatone, F. (2020). Decentralized community composting: Past, present and future aspects of Italy. *Sustainability (Switzerland)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/SU12083319>

Chanakya, H. N., Ramachandra, T. V., Guruprasad, M., & Devi, V. (2007). Micro-treatment options for components of organic fraction of MSW in residential areas. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135(1–3), 129–139. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9711-5>

Chifari, R., Sanchez, V., Ventosa, I., Guerrero, T., Sommer, G., López, M., Degueurce, A., Thiriet, P., Dargent, E. A Decentralised Management Scheme for Innovative Valorization of Urban Biowaste (2020). 6689229, 1–76.

CM-Albufeira (2023). Manual de Compostagem. Retirado de <https://www.cm-albufeira.pt/content/compostagem> (31-12-2023)

CM-Aveiro (2023). Sem Sobras - Projeto de Compostagem Doméstica. Retirado de <https://www.cm-aveiro.pt/servicos/ambiente/residuos-urbanos/sem-sobras-projeto-de-compostagem-domestica> (18-11-2024)

CM-Castro Marim (2023). Portal do Município de Castro Marim. Retirado de <https://cm-castromarim.pt/site/> (31-12-2023)

CM-Évora (2023). Compostagem. Retirado de <https://www.cm-evora.pt/municipe/areas-de-acao/ambiente/compostagem> (19-11-2024)

CM-Lisboa (2024). Lisboa a Compostar. Retirado de Câmara Municipal de Lisboa - Lisboa a Compostar | Números (25-11-2024)

CM-Loures (2023). Compostar outra forma de reciclar. Retirado de <https://www.cm-loures.pt/AreaConteudo.aspx?DisplayId=1411> (31-12-2023)

CM-Monforte (2024). Manual de compostagem doméstica Bokashi. Câmara Municipal de Monforte. Retirado de <https://www.cm-monforte.pt/wp-content/uploads/2024/06/2024-06-15-compostagem-domestica-manual-bokashi.pdf> (30-09-2024)

CM-Silves (2023). Implementação de compostagem doméstica e comunitária. Retirado de <https://www.cm-silves.pt/pt/7245/implementacao-de-compostagem-domestica-e-comunitaria.aspx#prettyPhoto> (31-12-2023)

Colón, J., Cadena, E., Pognani, M., Barrena, R., Sánchez, A., Font, X., & Artola, A. (2012). Determination of the energy and environmental burdens associated with the biological treatment of source-separated Municipal Solid Wastes. *Energy and Environmental Science*, 5(2), 5731–5741. <https://doi.org/10.1039/c2ee01085b>

DD CB. (2023a). Diário Digital Castelo Branco Proença-a-Nova distribui compostores domésticos. Retirado de <https://www.diariodigitalcastelobranco.pt/noticia/64359/proenya-a-nova-cymara-municipal-distribui-compostores-domysticos> (18-11-2024)

DD CB (2023b). RYDYO - Projeto RecolhaBio. Retirado de <https://www.diariodigitalcastelobranco.pt> (18-11-2024)

DD CB (2024) - Oleiros: 1ª fase do workshop “Reciclagem com Compostagem” concluída Retirado de <https://www.diariodigitalcastelobranco.pt/noticia/67414/oleiros-1-fase-do-workshop-creciclagem-com-compostagemc-concluyda> (18-11-2024)

Decisão 2014/955/EU da Comissão, de 18 de dezembro. Jornal Oficial da União Europeia, L 370.

Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro. Diário da República n.º 239, Série I.

Decreto-Lei n.º 11/2023, de 10 fevereiro. Diário da República n.º 30/2023, 1ª Série.

Decreto-Lei n.º 24/2024, de 26 de março. Diário da República nº 61, 1ª Série,

Decreto-Lei n.º 273/2009, de 1 de outubro. Diário da República, n.º 191, 1ª Série

Diacono, M., & Montemurro, F. (2010). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2), 401–422. <https://doi.org/10.1051/agro/2009040>

Diaz, L. F., & Savage, G. M. (2007). Chapter 4 Factors that affect the process. *Waste Management Series*, 8, 49–65. [https://doi.org/10.1016/S1478-7482\(07\)80007-8](https://doi.org/10.1016/S1478-7482(07)80007-8)

Diretiva (UE) 2018/851 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio. Jornal Oficial da União Europeia, L 150.

Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro. Jornal Oficial da União Europeia, L 312.

Ecolezíria. (2024). Portal da Ecolezíria. Retirado de <https://ecoleziria.pt/> (18-11-2024)

El Fels, L., Lemee, L., Ambles, A., & Hafidi, M. (2014). Identification and biotransformation of lignin compounds during co-composting of sewage sludge-palm tree waste using pyrolysis-GC/MS. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 92, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.04.001>

Elango, D., Thinakaran, N., Panneerselvam, P., & Sivanesan, S. (2009). Thermophilic composting of municipal solid waste. *Applied Energy*, 86(5), 663–668. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.06.009>

EPA (2004). SW-846 Test Method 9045D: Soil and Waste pH (4<sup>th</sup> ed.). United States Environmental Protection Agency. Retirado de: <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-9045d-soil-and-waste-ph>

EPAIte (2023). FertiAlte - Unidade de Compostagem de Alte. Escola Profissional de Alte Retirado de <https://www.epalte.pt/index.php/9-noticias/179-fertialte-unidade-de-compostagem-de-alte-ja-esta-a-compostar> (31-12-2023)

EUROSTAT (2024): Municipal waste statistics. Retirado de: Municipal waste statistics - Statistics Explained. (22-11-2024)

Favoino, E., & Hogg, D. (2008). The potential role of compost in reducing greenhouse gases. *Waste Management and Research*, 26(1), 61–69. <https://doi.org/10.1177/0734242X08088584>

Avelar, D. & Ulm, F. (2017). Como está Ciências a melhorar a gestão dos resíduos orgânicos?. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Retirado de <https://ciencias.ulisboa.pt/pt/noticia/28-06-2017/como-est%C3%A1-ci%C3%A2ncias-a-melhorar-a-gest%C3%A3o-dos-res%C3%AAduos-org%C3%A2nicos?page=61> (19-11-2024)

Gallardo, A., Edo-Alcón, N., Carlos, M., & Renau, M. (2016). The determination of waste generation and composition as an essential tool to improve the waste management plan of a university. *Waste Management*, 53, 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.04.013>

Hemidat, S., Jaar, M., Nassour, A., Nelles, M., (2018). Monitoring of Composting Process Parameters : A Case Study in Jordan. *Waste and Biomass Valorization*, 9(12), 2257–2274. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0197-x>

ISEL (2023). História e Missão. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Retirado de <https://www.isel.pt/quem-somos/historia-e-missao> (23-05-2023)

Jamal, M., Szeffler, A., Kelly, C., & Bond, N. (2019). Commercial and household food waste separation behaviour and the role of Local Authority: a case study. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(s1), 281–290. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-00300-z>

Keng, Z. X., Chong, S., Ng, C. G., Ridzuan, N. I., Hanson, S., Pan, G. T., Lau, P. L., Supramaniam, C. V., Singh, A., Chin, C. F., & Lam, H. L. (2020). Community-scale composting for food waste: A life-cycle assessment-supported case study. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121220. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121220>

Lei n.º 52/2021, de 10 de agosto. Diário da República nº 154/2021, Série I

Leroy Merlin (2024). Catálogo máquinas de jardim – compostores. Retirado de <https://www.leroymerlin.pt/produtos/jardim/maquinas-de-jardim/compostores/> (18-11-2024)

LIPOR (2024) "A Compostagem." Retirado de <https://www.lipor.pt/pt/sensibilizar/compostagem-caseira-e-comunitaria/a-compostagem-2/> (30-11-2024)

Makan, A., Assobhei, O., & Mountadar, M. (2013). Effect of initial moisture content on the in-vessel composting under air pressure of organic fraction of municipal solid waste in Morocco. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 10(3), 1. <https://doi.org/10.1186/1735-2746-10-3>

Medvidović, N. V., Buljac, M., Dadić, E., (2024). Indoor Pretreatment of Biowaste Using the Bokashi Method. *Kemija u Industrij*, 73, 129–138. <https://hrcak.srce.hr/clanak/455205>

Meena, A. L., Karwal, M., Dutta, D., & Mishra, R. P. (2021). Composting: Phases and Factors Responsible for Efficient and Improved Composting. *Agriculture and Food: e-Newsletter*, Ghaziabad, India-201206., 85-90 E-ISSN:2581-8317; Retirado de: IMMUNE-BOOSTING-FOODS-POPULAR-ARTICLE-Volume-03-Issue-01-January-2021-1.pdf

Palaniveloo, K., Amran, M. A., Norhashim, N. A., Mohamad-Fauzi, N., Peng-Hui, F., Hui-Wen, L., Kai-Lin, Y., Jiale, L., Chian-Yee, M. G., Jing-Yi, L., Gunasekaran, B., & Razak, S. A. (2020). Food waste composting and microbial community structure profiling. *Processes*, 8(6), 1–30. <https://doi.org/10.3390/pr8060723>

Peces, M., Astals, S., & Mata-Alvarez, J. (2014). Assessing total and volatile solids in municipal solid waste samples. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 35(24), 3041–3046. <https://doi.org/10.1080/09593330.2014.929182>

Piedade, M., & Aguiar, P. (2010). Opções de gestão de resíduos urbanos Série Guias Técnicos 15. ERSAR. Retirado de [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ersar\\_opcoes\\_de\\_gestao\\_de\\_residuos\\_urbanos\\_2010.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ersar_opcoes_de_gestao_de_residuos_urbanos_2010.pdf) (19-11-2024).

Razmjoo, P., Pourzamani, H., Teiri, H., & Hajizadeh, Y. (2015). Determination of an empirical formula for organic composition of mature compost produced in Isfahan-Iran composting plant in 2013. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 4(1), 1–6. <https://doi.org/10.4103/2277-9183.153988>

RCB (2024). Em Oleiros já se faz compostagem doméstica. Rádio Castelo Branco. Retirado de <https://radiocastelobranco.sapo.pt/em-oleiros-ja-se-faz-compostagem-domesticam> (19-11-2024)

Resolução do Conselho de Ministros n.º 31/2023, de 24 de março. Diário da República n.º 60, Série I.

Ryckeboer, J., Mergaert, J., Vaes, K., Klammer, S., De Clercq, D., Coosemans, J., Insam, H., & Swings, J. (2003). A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. *Annals of Microbiology*, 53(4), 349–410.

Sanders, J., Waliczek, T. M., & Gandonou, J. M. (2011). An economic analysis of a university educational cafeteria composting program—Bobcat

Scarlat, N., Dallemand, J. F., & Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, 129, 457–472. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>

Setúbal Ambiente. (2023). Setúbal Composto Tem + Valor. Retirado de <https://www.setubalambiente.pt/setubal-composto> (31-12-2023)

Sharma, V. K., Caudatelli, M., Fortuna, F., & Cornacchia, G. (1997). Processing of urban and agro-industrial residues aerobic composting: review. *Energy Conversion and Management*, 38(5). [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(96\)00068-4](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(96)00068-4)

Shilev, S., Naydenov, M., Vancheva, V., & Aladjadjiyan, A. (2007). Composting of food and agricultural wastes. Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry, 283–301. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-35766-9\\_15](https://doi.org/10.1007/978-0-387-35766-9_15)

SMAS Sintra (2023). Compostagem SMAS. Retirado de <https://www.smas-sintra.pt/sintra-atribui-desconto-para-aderentes-ao-sistema-de-biorresiduos/> (31-12-2023)

Smith, S. R., & Jasim, S. (2009). Small-scale home composting of biodegradable household waste: Overview of key results from a 3-year research programme in West London. *Waste Management and Research*, 27(10), 941–950. <https://doi.org/10.1177/0734242X09103828>

Storino, F., Arizmendiarieta, J. S., Irigoyen, I., Muro, J., & Aparicio-Tejo, P. M. (2016). Meat waste as feedstock for home composting: Effects on the process and quality of compost. *Waste Management*, 56, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.07.004>

Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., & Itävaara, M. (2000). Biodegradation of lignin in a compost environment: A review. *Bioresource Technology*, 72(2), 169–183. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00104-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00104-2)

UM (2024). Biorresíduos. Universidade do Minho Retirado de <https://alumni.uminho.pt/pt/news/Paginas/Not%C3%ADcias%202017/Residuos-org%C3%A2nicos-.aspx> (19-11-2024)

UP (2024). Fraunhofer Portugal e LIPOR criam tecnologia para compostagem caseira. Universidade do Porto. Retirado de <https://noticias.up.pt/fraunhofer-portugal-e-lipor-criam-tecnologia-para-facilitar-compostagem-caseira/> (19-11-2024)

US Composting Council. (2019). Campus Composting Startup Survey. Raleigh, NC: US Composting Council.

van der Linden, A., & Reichel, A. (2020). Bio-waste in Europe: Turning challenges into opportunities. In EEA Report No 04/2020 (Issue 04). <https://www.eea.europa.eu/publications/bio-waste-in-europe>

VDP (2023). Voz da Planície. Resialentejo incentiva compostagem doméstica e comunitária. Retirado de <https://www.vozdaplanicie.pt/noticias/resialentejo-com-projeto-para-incentivar-compostagem-domestica-e-comunitaria> (19-11-2024)

Yulipriyanto, H. (2011). Emission d'effluents gazeux lors du compostage de substrats organiques en relation avec l'activité microbologique ( nitrification / dénitrification ). Université Rennes (France), 214.

Zhan, Y., Wei, Y., Zhang, Z., Zhang, A., Li, Y., & Li, J. (2021). Effects of different C/N ratios on the maturity and microbial quantity of composting with sesame meal and rice straw biochar. *Biochar*. <https://doi.org/10.1007/s42773-021-00110-5>

# Anexos

# Anexo I – Resumo e Comunicação oral na 1st International Conference of FEE EcoCampus, Escola Superior de Educação de Lisboa / IPL, Lisboa, 2024



## From Eco-School to Eco-Campus

The program allows us to understand the challenges that need to be overcome and some paths to follow.



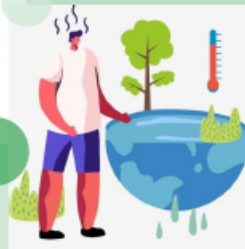
3

## What about Waste Production?



Combating Climate change requires a change in the behaviour of all of us, as society.

It is essential to promote and disseminate the 5R's policy: Rethink Refuse, Reduce, Reuse, Recycle.



The excessive consumption and disposal of materials, associated with a huge extraction of resources, have a negative impact on nature, and leads to the production of a large amount of municipal solid waste, sent to landfill or incineration, increasing even more the environmental impact.

4

## Biowaste Production



Despite the attempts to reduce the production of municipal solid wastes (MSW), waste has increased in European Union over the last fifteen years, from 500 kg per capita in 2004 to 513 kg per capita in 2022.

In Portugal, the MSW production varies from 445 kg to 513 kg per capita, in 2004 and 2022, respectively (Eurostat, 2024).

In Portugal, the fraction of biowaste in MSW represents about 39% (2022).

5

## From Eco-School to Eco-Campus

To reduce the biowaste sent to landfill, the school joined the Lisbon Composting Program, promoted by the municipality, having installed 8 domestic composters in 4 different Campus spots, and built a composter for garden waste.



6

## Composters Installation



The set of composters has been used to deposit some biowaste resulting from food consumed on campus, as well as to deposit garden waste, such as leaves, branches, and grass.

The compost produced is subsequently distributed in several green areas to promote soil regeneration and nourish the plants in the institution's gardens, contributing to improve biodiversity and promote circular economy.

7

## Awareness campaigns and introduction in curricula



Since 2021, ISEL has developed several awareness campaigns about recycling waste and biowaste and the composting process was promoted in Campus.

The installed composters, in addition to serving to raise awareness among the community and to support initiatives of the ISEL-Eco-Campus Program, have also been used in master's classes in Environmental Engineering, with several theses being carried out on this topic, using, and studying the matter collected in the composters.

8

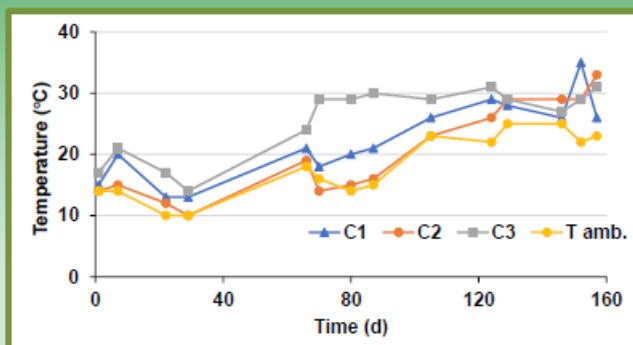
## Composting process evaluation

For the composting tests, samples of the composter's contents were collected 1 to 2 times a week, to measure the pH, temperature, total, fixed, and volatile solids.

To measure the temperature inside the composters, five points were selected, four points along the sides and a central point. The temperature in the three composters and ambient temperature were measured for 160 days.



## Composting process evaluation



Composter C3 presented higher temperatures, probably due to the greater amount of residue deposited, consequently a greater amount of organic matter was available for biodegradation reactions.

None of the composters reached the temperature characteristic of the thermophilic phase (55°C) of the composting process.

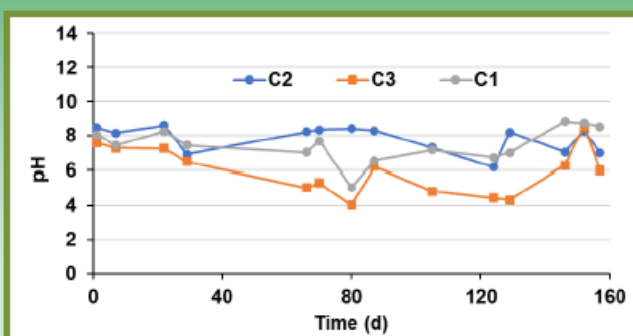
Figure 1 - temperature profiles in composting tests

Temperature measured at the composters central point

C1 - students' residence, C2 - students bar, C3 - school canteen

10

## Composting process evaluation



The C3 composter has the lowest pH profile, which is in accordance with the temperature profile and the highest amount of organic matter.

All composter presented a pH between 4 and 9, which is the usually range for composting process.

Figure 2 - pH profiles in composting tests

pH measured at the composters

C1 - students' residence, C2 - students bar, C3 - school canteen

11

## Composting in the Campus - evaluation

### Strengths

The results revealed that is possible to carry out domestic composting involving students, professors and staff.

It was possible to produce compost to use in the Campus.

Promotion of circular economy.

### Opportunities

Involve more students and use the School as a living lab.



12

## Composting in the Campus - evaluation

### Weaknesses

The success it's highly dependent on participants procedure, and it is a relatively slow process.

The food waste presents several contaminates, so it is necessary to carry out frequent awareness campaigns to reach as many people as possible.

### Threats

Lack of students to participate in the project and it ends.



13

## Contribution to the Sustainable Development Goals

The work under development intends to contribute to the 17 Sustainable Development Goals (SDGs), namely:

- to improve scholar population's education about sustainable development (SDG 4);
- to enhance waste management and reduce the environmental impact of cities (SDG11);
- to promote responsible consumption and production, an efficient use of natural resources and reduce waste generation (SDG 12);
- to promote climate action (SDG 13).



14

## Special thanks



Alexandra Rodrigues



Teresa Santos



Ana Lúcia Craveiro

Authors would like to thank to Polytechnic University of Lisbon for the financial support through the research project IPL/2022/BioCompost\_ISEL and to the Lisbon City Council for the composters.

15

## THANK YOU

ISEL  
eco  
campus

SUPPORTED BY:



16

# Anexo II – Resumo e comunicação em painel no Fórum de Engenharia Química e Biológica (FEQB) 2023



**ISEL**  
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

## Compostagem de biorresíduos no campus do ISEL

**A. L. Pereira<sup>1</sup>, M. T. Santos<sup>1,2</sup>, A. Rodrigues<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Química Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, R. Conselheiro Emídio Navarro, 1959-007 Lisboa, Portugal,  
<sup>2</sup>CERNAS - Centro de Recursos Naturais, Ambiente e Sociedade, Escola Superior Agrária de Coimbra Bencanta, 3045-601 Coimbra, Portugal  
a4793@alunos.isel.pt



**RESUMO**

A compostagem é um processo biológico que ocorre em condições aeróbicas, consistindo na transformação dos resíduos orgânicos em composto. Existem diversos elementos que afetam o processo de compostagem e que devem ser controlados de forma a otimizar o processo. O presente trabalho pretende analisar e avaliar a compostagem doméstica dos biorresíduos produzidos no CAMPUS do ISEL. Para atingir o objetivo do presente trabalho, será feita uma caracterização da compostagem doméstica. Será também efetuada a análise das diferentes frações de biorresíduos, através da determinação de vários parâmetros (ex. temperatura, pH, sólidos totais e voláteis).

**INTRODUÇÃO**

Em Portugal foram geradas 5,311 milhões de toneladas de resíduos urbanos (RU), dos quais 56% ainda são encaminhados para aterro, em 2021. Os RU têm cerca de 37% de biorresíduos [1]. Até o final de 2023, devem ser implementados sistemas de recolha seletiva de biorresíduos que permitam a sua separação e reciclagem no local de origem, por meio da compostagem doméstica [2]. Os biorresíduos compreendem resíduos biodegradáveis originados em jardins, parques, residências, escritórios, restaurantes, lojas de alimentos e unidades de transformação de alimentos, entre outros (Figura 1) [2].

O processo de compostagem é influenciado por diversos parâmetros incluindo o tamanho das matérias-primas, a temperatura utilizada durante a compostagem, o teor de humidade presente, o pH, a quantidade de oxigénio disponível e a relação C/N[3].



Figura 1: Biorresíduos



Figura 2: Localização dos compostores no ISEL

**MATERIAIS E MÉTODOS**

**Testes de compostagem**

Para realização do projeto ID&ICA 2022 – BioCompost foram instalados 7 compostores no campus do ISEL, cedidos pela Câmara Municipal de Lisboa, com um volume de 320 L cada (Figura 3) e 1 com a capacidade de 420 L adquirido posteriormente. Nos compostores foram colocados diferentes camadas de resíduos verdes e castanhos, como por exemplo resíduos alimentares, relvas e folhas de árvores. Para monitorização dos ensaios de compostagem foram determinados diversos parâmetros, nomeadamente humidade, temperatura, pH, sólidos totais e voláteis. Por forma a minimizar os contaminantes nos compostores, foram realizadas ações de sensibilização, nomeadamente webinars, workshops e cartazes (Figura 4). A amostragem foi realizada em diversos pontos dos compostores e posterior aplicação do método dos quartis. As determinações de pH, sólidos totais e voláteis foram realizadas de acordo com o Standard Methods [4]. A humidade foi monitorizada semanalmente através do “teste da esponja” onde se espremeu uma porção do resíduo e se verificou a existência de água suficiente. A temperatura foi medida em cinco pontos de cada compostor



Figura 3: Compostor: a) desmontado; b) montado e c) com biomatéria



Figura 4: Contaminantes presentes nos compostores: a) etiquetas plásticas de fruta; b) embalagem plástica para legumes

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nos ensaios de compostagem verificou-se a presença de contaminantes, tendo sido necessário reforçar as campanhas de sensibilização, para minimizar a presença de contaminantes nos compostores.

Durante os ensaios de compostagem, a humidade foi adequada na maior parte dos meses, sendo necessário regar os compostores semanalmente nos de verão, devido ao aumento típico da temperatura. O pH variou de 4,0 a 9,0 (Figura 5) em diferentes fases da compostagem, evidenciando a ação dos microrganismos. Relativamente à temperatura, o compostor C7 apresentou o maior valor, devido provavelmente à maior quantidade de matéria orgânica biodegradável, existente de resíduos depositados, provenientes da cantina (Figura 6). Nos outros compostores a variação da temperatura apresenta um perfil semelhante.

A população do campus é de 5.123 pessoas, que podem contribuir para a compostagem, existindo uma área disponível de cerca de 7.500 m<sup>2</sup> onde é possível aplicar o composto.



Figura 5: Variação de pH nos compostores C1, C4 e C7



Figura 6: Variação de temperatura nos compostores C1, C4 e C7

**CONCLUSÕES**

**REFERÊNCIAS**

1. APA, Relatório Anual de Resíduos Urbanos (RARU), Agência Portuguesa do Ambiente, 2021.
2. Decreto-Lei nº 102-D/2020 de 10 de Dezembro de Presidência do Conselho de Ministros. Diário da República Nº 239, 1ª Série.
3. Mathur, S. A., Oj, S., Okwesa, O. S., Babalola, O. O., Odeyemi, O. Waste management through composting: Challenges and potential. *Bioresour. Technol.*, 2020, 12(1), 1109–1116.
4. PR. SW-598 Test Method 9245C: Soil and Water pH (2004), 4th Ed. Disponível em: <https://www.epa.gov/sw-598-94598-test-method-9245c-soil-and-water-ph>
5. APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017), 23rd Ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA.

**AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem:  
à Câmara Municipal de Lisboa pela disponibilidade dos compostores domésticos.  
Ao IPL pelo financiamento do projeto ID&ICA 2022 – IPL/2022/BioCompost\_ISEL.

# Anexo III – Resumo e comunicação em painel na conferência 9th International Conference on Sustainable Solid Waste Management Corfu, Greece



**ISEL**  
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

## Domestic composting in universities

A. L. Pereira<sup>1</sup>, M. T. Santos<sup>1,2</sup>, A. Rodrigues<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, 1959-007 Lisboa, Portugal

<sup>2</sup>CERNAS - Research Center for Natural Resources, Environment and Society, Coimbra, Portugal

<sup>3</sup>CIMOSW Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, Lisbon, Portugal

(E-mail: [tsantos@deq.isel.ipl.pt](mailto:tsantos@deq.isel.ipl.pt))



### INTRODUCTION



Figure 1. Biowaste: a) food, garden and parks waste; b) food and kitchen waste

Composting is a biological process that occurs under aerobic conditions, consisting in the organic waste's transformation into compost. In this biological process it's important to have adequate temperature and moisture conditions (Azim et al., 2018). In Portugal, 5.279 million tons of Municipal Solid Waste (MSW) were produced by 2020. The MSW have around 37% of biowaste (APA, 2021). In Europe the household recycling target is 70% by 2030 (Araya, 2018). The present work intends to analyse and evaluate the domestic composting of the biowaste produced in higher education institutions (IES). To achieve the objective of the present work, a characterization of domestic composting in a IES Campus will be made. Also, analysis of different fractions of biowaste (Figure 1) will be carried out, through the determination of various parameters (e.g. temperature, pH, total and volatile solids - TS and TVS, etc.).

### MATERIALS AND METHODS

**Composting Tests**

The tests were carried out in 8 composters. 7 composters (Figure 2) were set up on the ISEL campus, provided by the Lisbon City Council, with a volume of 320 L each (Figure 3). A preparatory study was carried out with the first 3 composters to receive biowaste from the restaurant spaces in ISEL Campus. In order to complete the composting process this study was carried out for 6 months. Also, a survey was carried out to understand if ISEL users were available to collaborate in the composting. After 8 months, 4 more composters were installed and after 2 months a new composter was installed, with higher capacity (480 L) and bigger ventilation openings. Layers were assembled (tree and grass + food waste) by alternating layers of brown and green waste. The parameters humidity, temperature, pH, total and volatile solids were monitored over time. In order to deal with the existence of non-organic waste in the composter (Figure 4), awareness-raising actions were carried out, namely webinars, workshops and posters (Figure 5).

**Sample preparation**

Several waste samples were taken from the composters. The samples were then prepared using the quartile method (Figure 6 a).

**pH determination**

The pH determination was made based on the method 9045 d (EPA, 2004), the ratio 1:10 (W/V) was used (Figure 6c).

**Total and Volatile Solids determination**

The TS and VS were determined using the standard method 2540 G (APHA, 2017). 10 g of the sample was weighed. To determine TS, the sample was evaporated and dried (oven) at 103-105 °C (Figure 6b). Then it was placed in the muffle at 550° C (muffle furnace) for determination of VS.

**Temperature**

The temperature was checked at three points at 40 cm of depth on the composter including the middle point, using a thermometer.

**Humidity**

Humidity was monitored weekly through the "sponge test" where a portion of the residue was squeezed and the existence of adequate water was verified.



Figure 2. Domestic composter: a) dismantled; b) assembled and c) brown waste



Figure 3. Location of the composters (yellow) at ISEL Campus



Figure 4. Non biodegradable waste in composter: a) plastic and b) metal



Figure 5. Composting campaign with posters of posters



Figure 6. Waste Sample a) preparation; b) solids determination; c) pH determination

### RESULTS AND DISCUSSION



Figure 7. Composter temperature control points



Figure 8. Temperature determination

The survey results indicated that about 31% of participants were available to contribute to composting at ISEL and 51% may be available. Thus, it was necessary to carry out awareness-raising actions on domestic composting and how to correctly separate biowaste in order to avoid the presence of contaminants in composters. The ISEL population is around 5,123 persons that can contribute to composting and the soil available to receive the compost has an area of about 7,500 m<sup>2</sup>. During the composting tests it was observed that the humidity parameter remained adequate, and it was only necessary to perform the weekly watering of the composters in May, given the typical increase in temperature. The pH measurement in the composters content was between 7.0 and 7.9, which is adequate for the composting process. The temperature was determined during the composting process at five points in each composter, as can be observed in Figure 7, after 82 days. The highest temperature occurred at point T3 (Figure 8), center of the compost as expected, due to the release of heat from the degradation reactions of organic matter. The other composters showed similar behavior for the same time period. The preliminary analysis verifies the existence of a TS of 500.9 mg/g in the waste sample taken after 82 days. However, a more careful evaluation of this parameter will be necessary.

### CONCLUSIONS

Preliminary results revealed that composting is dependent on participants' availability, it's a relatively slow process and it takes about 6 months to obtain the compost. During the composting process it's necessary control the waste deposition in order to avoid several contaminants, like plastics, paper with ink and masks, due to the high population of ISEL Campus. Nevertheless, it's possible to treat by domestic composting the biowaste produced in the ISEL Campus taking a step forward in the circular economy within the campus. The present work is still under development.

### REFERENCES

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017), 23rd Ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA.  
 APA. Relatório Anual de Resíduos Urbanos (RARIU), Agência Portuguesa do Ambiente, (2021) available in: [https://ambiente.pt/files/default/Residuos/Produtos\\_Gest%C3%A3o\\_Residuos/DadosRARIURARU%202020\\_V1.pdf](https://ambiente.pt/files/default/Residuos/Produtos_Gest%C3%A3o_Residuos/DadosRARIURARU%202020_V1.pdf) (in Portuguese).  
 Araya, M. N., A Review of Effective Waste Management from an EU, National, and Local Perspective and Its Influence: The Management of Biowaste and Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste. Journal of Environmental Protection 9 (2018) 460-470.  
 Azim, K., Souad, B., Boukhar, S., Perissi, C., Rousseau, S., Alami, I. T., Composting parameters and compost quality: a literature review. Org. Agr. 9 (2018) 141-150.  
 EPA. 9045-D Test Method 9045D: Soil and Waste pH (2004), 4th Ed. Available at: <https://www.epa.gov/epaospp/method-9045-d-soil-and-waste-ph>

### ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the Lisbon City Council for the composters supply and the Instituto Politécnico de Lisboa for the financial support through the research project (D&CA-project PL02022/ResCompost\_ISEL).

110

## Anexo IV - Comunicação oral na 4ª conferência CAMPUS Sustentável no Instituto Politécnico de Leiria



CCS2022 4.ª CONFERÊNCIA CAMPUS SUSTENTÁVEL  
26\_27 OUT 2022  
POLTÉCNICO DE LEIRIA  
LEIRIA - PORTUGAL

**Compostagem doméstica em instituições de ensino superior**

8954 A.L. Pereira<sup>1</sup>, M. T. Santos<sup>1, 2</sup>, A. Rodrigues<sup>1</sup>

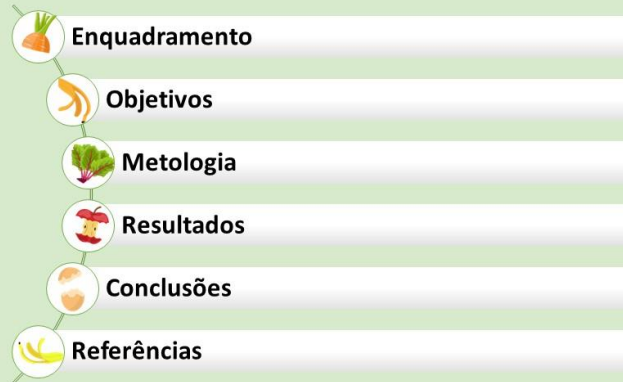
1Departamento de Engenharia Química Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, 1959-007 Lisboa, Portugal  
2CERNAS - Centro de Recursos Naturais, Ambiente e Sociedade, Coimbra, Portugal  
3CIMOSM/ Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal

ISEL

POLTÉCNICO DE LEIRIA R7 UN RCS

Outubro, 2022

## Agenda



3

## Enquadramento

- Portugal (2020)- Foram produzidos 5,279 milhões de RU t até 2020 (37% biorresíduos), onde 41% dos RU vão diretamente para aterro, e apenas **7,1% são tratados por compostagem e/ou digestão anaeróbia** (APA, 2021).
- Até 2035, a quantidade de resíduos urbanos depositados em aterro, **deve ser reduzida em 10 %.** (DL 102-D/2020)
- O tema da compostagem é de extrema relevância **sendo escassa a informação disponível relativamente a este tema nas Instituições de Ensino Superior (IES).**
- É pertinente **explorar a aplicação da compostagem em IES - ISEL, com biorresíduos produzidos dentro do campus e aplicação do composto nos espaços verdes do mesmo, fechando o ciclo dos biorresíduos e contribuindo para uma economia circular e apostando num tratamento descentralizado.**

4

## Enquadramento – Transição para uma Economia Circular



Figura - Esquema acordo GREEN DEAL  
(adaptado APA, 2020)

5

## Enquadramento - Compostagem Doméstica

Processo natural de **decomposição de matéria orgânica**, em pequena escala, através da atuação de **microrganismos e condições favoráveis** (temperatura e humidade).

### Vantagens:

- ✓ Diminuir as emissões de GEE e custos
- ✓ Gestão da composição dos resíduos que vão constituir o composto.
- ✓ Melhor rendimento agronómico;
- ✓ Menor utilização de água;
- ✓ Contribuir para a redução significativa de biorresíduos em aterro;



Figura - Elementos necessários à produção de composto  
FREEPIK, 2022

6

## Objetivos

- **Analisar e avaliar a compostagem dos biorresíduos** produzidos em instituições de ensino superior.
- Identificar e analisar **aplicações para o composto final** dentro dos campus universitários (hortas, espaços verdes, etc.)
- Analisar a viabilidade de implementação da **Compostagem no ISEL** contribuindo para a **Sustentabilidade**.



Figura –Biorresíduos presentes no compostor

7

## Metodologia – Instalação de Compostores

### Fase 1

Ação de Sensibilização.

### Fase 2

Instalação de 7+1 compostores na Universidade em parceria com a CMLisboa.

### Fase 3

Monitorização do projeto de compostagem (temperatura, humidade, pH, ST STF e STV).

### Fase 4

Avaliação da existência de contaminantes e aplicação de composto nos espaços verdes.



Figura – Compostores instalados no ISEL com cartazes



Figura – Resíduos em decomposição dentro do compostor: a) vista geral e b) Interior

8

## Metodologia – Campanhas de Sensibilização



Figura – Ação de sensibilização com distribuição de panfletos



Figura – Ação de sensibilização com afixação de cartazes

## Metodologia – Localização de compostores no ISEL



Figura – Mapa campus ISEL com localização de compostores  
GOOGLE MAPS, 2022

## Metodologia- Amostragem e Parâmetros



Figura – Amostragem e Parâmetros: a) Amostragem do conteúdo do compostor  
b) Determinação de ST e STV e STF através de método gravimétrico; c) Determinação de pH através de método eletroquímico

## Metodologia – Recolha composto e aplicação



Figura – Recolha composto e aplicação: a) Recolha de 30 kg de composto após 201 dias; b) Aplicação de composto; c) Hortenses (*Hydrangea macrophylla*) antes de aplicação do composto (d) Hortenses (*Hydrangea macrophylla*) após aplicação do composto

12

## Apresentação de Resultados - Inquérito

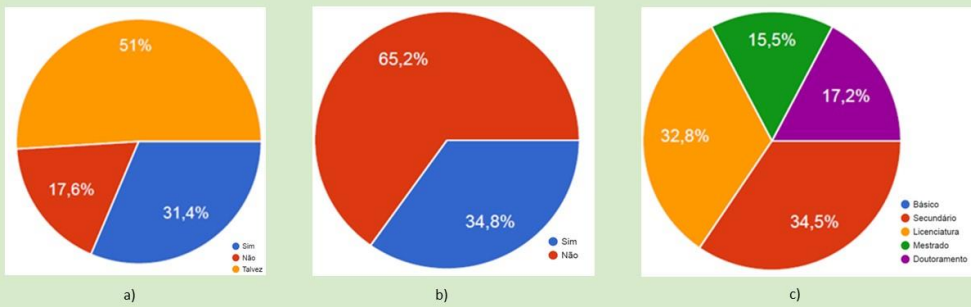


Figura – Respostas ás questões do Inquérito Compostagem: a) Está disponível para colaborar na compostagem doméstica de resíduos alimentares e de jardim no ISEL?; b) Costuma fazer refeições no ISEL?; c) Qual o seu nível de escolaridade? Pereira e Sousa, 2022

13

## Resultados - Temperatura



Figura – Pontos de medição de T no compostor

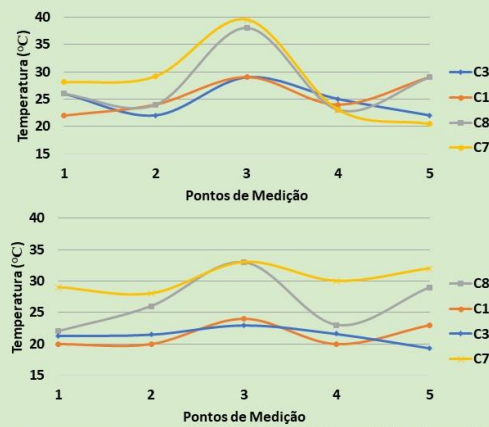


Figura – Temperaturas compostores: a) Medição após 88 dias(b) Medição após 103 dias

13

## Resultados - pH

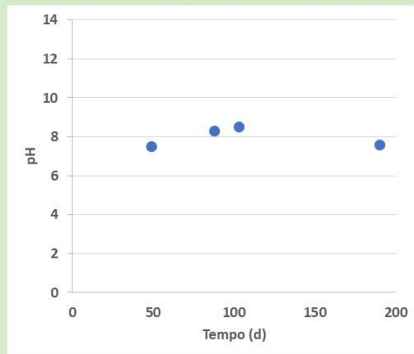


Figura – pH compostor 1

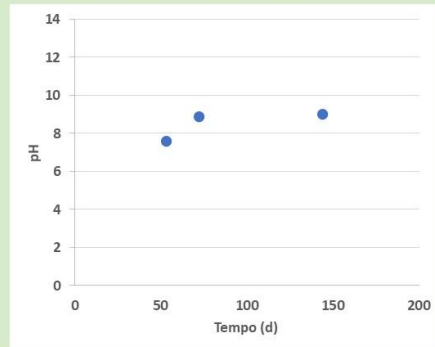


Figura – pH compostor 8

13

## Apresentação de Resultados – ST, STV, STF

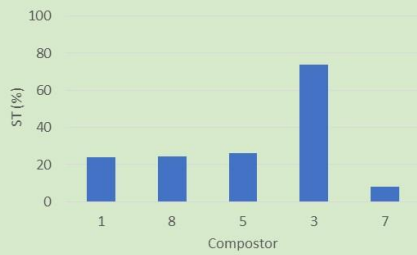


Figura – Sólidos Totais nos Compostores 1, 3, 5, 7 e 8

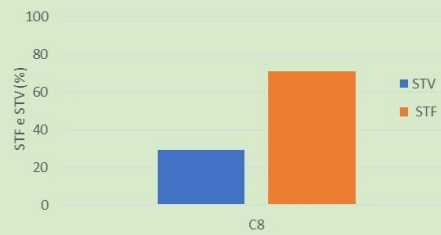


Figura – STF e STV no Compostor 8

13

## Apresentação de Resultados - Contaminantes



a)



b)

Figura- Exemplos de contaminantes encontrados no compostor: a) plástico e b) máscaras

14

## Conclusões

- Os resultados preliminares revelam que uma **grande percentagem de inquiridos se encontra disponível** para colaborar na compostagem.
- A Compostagem é um processo relativamente lento demorando cerca de **4-6 meses a obter o composto**.
- A temperatura - do processo de compostagem foi maior nos **compostores 3 e 8 atingindo os 39,6 °C**.
- O medição do pH foi aumentando ao longo do tempo, estabilizando no final **com pH entre 7,6 e 9**.
- No final do processo de compostagem, **os teores de SV tendem a diminuir à medida que a degradação da matéria orgânica avança, aumentando a percentagem de SF no conteúdo do compostor**.
- Durante o processo de compostagem **é necessário controlar a deposição de resíduos de forma a evitar diversos contaminantes**, como plásticos, papel com tinta e máscaras, devido à elevada população do Campus ISEL.
- A aplicação do composto contribuiu para uma **melhoria das espécies de plantas existentes no campus**.
- No entanto, **considera-se viável a utilização da compostagem doméstica** para tratamento dos biorresíduos produzidos no Campus ISEL dando um passo em frente na economia circular dentro do campus.

15

## Agradecimentos

CMLisboa

ISEL

IPL - project IPL/2022/BioCompost\_ISEL.

## Obrigada pela vossa atenção

16

## Referências

APA, Julho 2020: Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. Comissões Intermunicipais Câmaras Municipais Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos Bio resíduos. Contas certas nos resíduos (VERSÃO 1.0). Secretaria de Estado do Ambiente | Ministério do Ambiente e da Ação Climática

APA 2020: Agência Europeia do Ambiente, RARU 2020 ([www.apambiente.pt](http://www.apambiente.pt)) (20-05-2022, 20H30)

FREEPIK, 2022: ([www.br.freepik.com/](http://www.br.freepik.com/)) (20-05-2022, 21H00)

GOOGLE MAPS, 2022: <https://www.google.pt/maps/@38.7562793,9.116577,306m/data=!3m1!1e3?hl=pt-PT> (20-05-2022, 21H10)

Decreto-Lei. 102-D/2020 de 10 de Dezembro da Presidência do Conselho de Ministros. Diário da República: 1ª Série, Nº 239 (24-10-2022, 21H30)

APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017), 23rd Ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA. (24-10-2022, 21H30)

EPA, SW-846 Test Method 9045D: Soil and Waste pH (2004), 4rd Ed. Available at: <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-9045d-soil-and-waste-ph> (24-10-2022, 21H30)

# Anexo V - Comunicação oral no evento Semana Green Week do programa ISELEcoescolas



Departamento de Engenharia Química  
Mestrado Engenharia da Qualidade e Ambiente

ISEL

## Compostagem doméstica de resíduos urbanos em instituições de ensino superior

**CASO ESTUDO ISEL**  
ANA LÚCIA PEREIRA

ORIENTAÇÃO  
MARIA TERESA LOUREIRO DOS SANTOS  
MARIA ALEXANDRA SOUSA RODRIGUES

Maio, 2022

1

## O que é a compostagem Doméstica?

É um processo biológico, em pequena escala, de valorização de resíduos biodegradáveis que, pela atuação de microrganismos e condições favoráveis de temperatura e humidade, transforma os resíduos num produto orgânico rico em nutrientes, denominado por composto.

### Porquê fazer compostagem Doméstica?

- ✓ Melhorar o solo, crescimento das plantas e melhor rendimento agronómico;
- ✓ Produção de fertilizante orgânico sem custo;
- ✓ Usar menos água. O composto ajuda a reter a humidade do solo;
- ✓ Contribuir para a redução significativa de resíduos biodegradáveis enviados para aterro;
- ✓ Diminuir as emissões de GEE e custos associados ao transporte de resíduos – Gestão de resíduos na fonte;
- ✓ Gestão da composição dos resíduos que vão constituir o composto.



Figura 1 – Exemplo de elementos necessários à criação de composto 2

## Gestão de Biorresíduos em Portugal



Figura 2 – Gestão de Biorresíduos em Portugal (APA, 2020)

3

## Pacto Ecológico Europeu e transição para uma Economia Circular

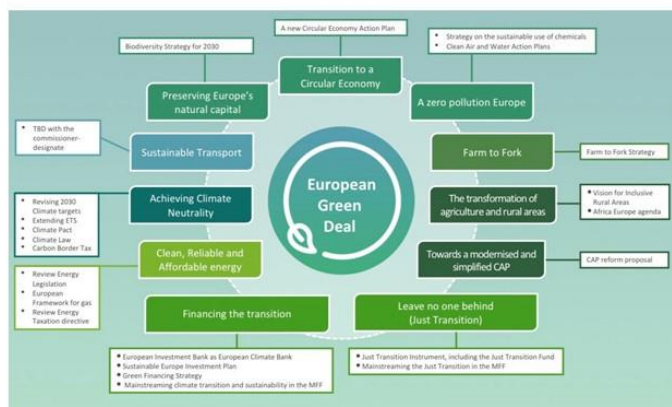


Figura 3 - Esquema acordo GREEN DEAL (APA, 2020)

4

## Compostagem Doméstica no ISEL



Objetivos:

- Estabelecer alternativas ao **encaminhamento dos biorresíduos** produzidos no ISEL (espaços de restauração e limpeza de espaços verdes) diminuindo o transporte dos mesmos **para aterro**;
- Identificar **aplicações para o composto final** dentro dos campus universitários (hortas, espaços verdes existentes etc)
- Analisar a viabilidade de implementação da **Compostagem no ISEL** contribuindo para que este se torne uma **Organização mais Sustentável**.



Figura 4 – Exemplo processo compostagem Slidesgo, 2022

5

# Cronograma Trabalho



## Fase 1 — Fase 2 — Fase 3 — Fase 4

- Ação de Sensibilização para a comunidade do ISEL
- Instalação de 7+1 compostores na Universidade em parceria com a CML e realização de compostagem doméstica no Campus Universitário do ISEL
- Recolha do composto e análise de parâmetros durante o processo de compostagem
- Análise da qualidade do composto final produzido e avaliação da existência de contaminantes



## O que devemos depositar

...E o que não devemos!

Necessitamos de terra, ar e água. A escolha do local é muito importante – Locais à sombra permitem reter a humidade do composto

### Colocar

**Verdes**  
(Matéria orgânica rica em azoto)

Restos de Fruta e Vegetais; Flores/plantas sem pesticidas ; Ervas daninhas sem sementes; Folhas verdes; borras de café e saquetas de chá; Cascas de ovo partidas;

**Castanhos**  
(Matéria orgânica rica em carbono)

Folhas secas; Relva cortada seca; Resíduos de cortes e podas; Aparas de madeira e serradura; Cascas de batata e Cascas de frutos secos

### Não colocar

Restos de carne, peixe, incluindo ossos e espinhas, ovos inteiros, produtos lácticos, cápsulas de café, fezes de animais, óleos e gorduras, autocolantes da fruta, troncos grandes, **resíduos não orgânicos (papel, plástico, vidro e metal), beatas, máscaras, luvas**



Figura 5 – Exemplo de plásticos em biorresíduos detetados no compostor

7

## Localização de compostores no ISEL



Figura 6 – Mapa ISEL com localização de compostores  
GOOGLE MAPS, 2022

8

## Metodologia Utilizada



- Colocação dos compostores em **contato com o solo e resguardado de condições climatéricas** adversas;
- Colocação no fundo do compostor paus e/ou pequenos troncos para permitir o **arejamento dos resíduos** e uma camada de terra;
- **Deposição intercalada de resíduos do tipo “verdes” e do tipo “castanhos”** em camadas.
- Realização periódica de **análises ao teor de humidade, temperatura e pH da mistura**.
- **Revolvimento frequente da matéria existente** para garantir uma decomposição uniforme e acelerar o processo;
- Após 3 a 4 meses, é possível observar a formação de uma mistura com aspeto semelhante a “terra”, o composto.



Figura 7 – Compostores instalados no ISEL com afixação de informação



Figura 8 – Resíduos em decomposição dentro do compostor

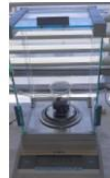
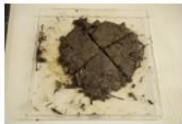


9

## Análise de Parâmetros pH e ST



a)



b)



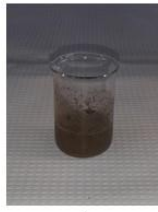
c)



d)



e)



f)



g)



h)



i)

Figura 9 – (a) Amostra do conteúdo do compostor; (b) Pesagem; (c) Targem cápsulas de porcelana – ST e STV 550°C; (d) Colocação de cápsulas de porcelana em exsiccador para remoção de humidade; (e) quantificação de água destilada para diluição da amostra; (f) mistura da amostra e água destilada; (g) Colocação da mistura em agitador para uniformização da mistura; (h) Calibração do medidor de pH; (i) Medição com tira de pH (pH ≈7)

10

# Compostagem no ISEL



Não desperdices  
esta ideia!



Obrigada pela atenção

11

## Referências



APA, Julho 2020: Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. Comissões Intermunicipais Câmaras Municipais Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos Bio resíduos. Contas certas nos resíduos (VERSÃO 1.0). Secretaria de Estado do Ambiente | Ministério do Ambiente e da Ação Climática

APA 2020: Agência Europeia do Ambiente, RARU 2020 ([www.apambiente.pt](http://www.apambiente.pt)) (20-05-2022, 20H30)

IUSNATURA 2019: ([www.iusnatura.com.br/compostagem/](http://www.iusnatura.com.br/compostagem/)) (20-05-2022, 20H50)

FREEPIK, 2022: ([www.br.freepik.com/](http://www.br.freepik.com/)) (20-05-2022, 21H00)

SLIDSGO, 2022: <https://slidesgo.com/> (20-05-2022, 21H05)

GOOGLE MAPS,  
2022: <https://www.google.pt/maps/@38.7562793,9.116577,306m/data=!3m1!1e3?hl=pt-PT> (20-05-2022, 21H10)

12

# Anexo VI - Manual de compostagem doméstica

## O que colocar no Compostor?

Colocar	
Verdes (ricos em azoto)	Castanhos (ricos em carbono)
Restos de Fruta e Vegetais; Flores/plantas sem pesticidas; Ervas daninhas sem sementes; Folhas verdes; Borras de café e Saquetas de chá (apenas de papel); Cascas de ovo partidas.	Folhas secas; Relva seca; Podas de árvores; Aparas de madeira e serradura; Cereais secos; Cascas de batatas.

**Colocar em pequena quantidade**

Citrinos; Restos de Pão; Restos de legumes cozinhados sem gordura (tapar com terra)

Não colocar
Restos de carne; Peixe incluindo ossos e espinhas; Ovos inteiros; Produtos lácteos; Cápsulas de café; Fezes de animais; Óleos e gordura; Autocolantes da fruta, Resíduos não orgânicos (Plástico, Vidro, Metal, Máscaras e Beatas); Papel.

## Dicas de como reduzir a produção de resíduos

Se não tem como fazer compostagem doméstica e tem interesse em reduzir o seu impacto no ambiente pode adotar as seguintes atitudes:

- 1 Repense o consumo, planeie as suas compras;
- 2 Prefira produtos com menos embalagens;
- 3 Reutilize: dê novas utilidades aos produtos;
- 4 Recicle: separe papel/cartão, embalagens, vidro e óleos alimentares usados;
- 5 Evite o desperdício alimentar
  - Planeie as suas refeições;
  - Armazene a sua comida de forma eficaz;
  - Faça a gestão dos seus produtos tendo em conta o seu prazo de validade;
  - Use todas as partes dos alimentos de forma criativa;

Separe os resíduos orgânicos, faça ou participe na compostagem do ISEL.

## Compostagem no ISEL: Não desperdice esta ideia



### Manual de Compostagem

A.L. Pereira, M. T. Santos, A. Rodrigues

DI&CA -project IPL/2022/BioCompost\_ISEL  
TFM do curso MEQA

Agradecimentos:  
CMLisboa  
Bruno Silva  
Patrícia Pereira



## O QUE É A COMPOSTAGEM?

É o processo biológico de transformação de biorresíduos em fertilizante orgânico, através de microrganismos aeróbios e condições favoráveis de temperatura e humidade, requerendo a mistura de:

O<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O C N

### Porque fazer a Compostagem?

Melhorar o rendimento agronómico;  
Reter a humidade do solo, implicando menos água consumida;  
Contribuir para a redução significativa de biorresíduos em aterro;  
Diminuir as emissões de Gases com Efeito de Estufa e custos;

### Kit de Compostagem

- Compostor;
- Biorresíduos
- Tesoura de podar, para cortar os resíduos em menores dimensões;
- Ancinho para revolver a mistura;
- Regador para adicionar água à mistura;
- Solo.

## TÉCNICAS DA COMPOSTAGEM

- 1 O compostor deve estar em contato com o solo e resguardado de condições climáticas muito adversas;
- 2 No fundo do compostor devem existir pequenos paus para permitir o arejamento dos resíduos e por cima uma camada fina de terra;
- 3 Devem ser depositados dentro do compostor biorresíduos provenientes da preparação de alimentos, alternadamente com as podas do jardim/folhas secas;
- 4 Periodicamente deve ser avaliado o teor de humidade, e se necessário adicionar água, sem colocar em excesso;
- 5 Periodicamente deve ser revolido o conteúdo do compostor, para garantir uma decomposição uniforme e acelerar o processo;
- 6 Ao fim de cerca de 3 a 4 meses, é possível observar a formação de mistura homogénea com aspeto semelhante a "terra" que se designa por composto.

*Atenção: A duração da estabilização e formação do composto variam de acordo com o tempo, o clima e o tipo de operação efectuada.*



## Problemas e Soluções


Sendo a compostagem um processo natural existem alguns problemas que podem ocorrer. Seguem-se algumas problemas bem como as respetivas soluções:

PROBLEMAS	CAUSA PROVÁVEL	SOLUÇÕES
Cheiro a Podre	• Humidade em excesso; • Demasiados verdes; • Compactação exagerada.	• Adicionar materiais castanhos e revirar a pilha. • Misturar materiais secos como pequenos ramos/troncos/folhas secas para aumentar a circulação de ar.
Cheiro a amónia	• Humidade excessiva; • Compactação excessiva.	• Adicionar materiais castanhos e revirar a pilha.
Temperatura alta	• Arejamento ou humidade insuficiente	• Revirar a pilha; • Adicione Verdes.
Temperatura baixa	• Pilha pequena • Baixa humidade • Pouco arejamento	• Aumentar a quantidade de materiais a compostar • Adicionar água; • Revirar a pilha.
Processo muito lento	• Materiais com grandes dimensões; • Demasiados castanho	• Cortar os materiais adicionados de modo a torna-los mais pequenos (nunca superior a 20/25 cm) e revirar a pilha; • Adicionar um pouco de terra para ativar o processo; • Adicionar materiais verdes, água e revirar a pilha. • Não adicionar carne, ossos, peixes ou comida cozinhada;
Pragas/ Existência de animais	• Existência de materiais impróprios	• Retirar possíveis resíduos indesejáveis e adicionar uma camada fina de terra ou folhas por cima para evitar insetos.
Composto muito húmido	• Drenagem insuficiente • Falta de ar • Excesso de água	• Adicionar folhas secas; • Revirar a pilha.


# Anexo VII - Póster de sensibilização para a prática de compostagem



**ISEL**  
INSTITUTO SUPERIOR DE  
TÉCNICA DE LISBOA



**ISEL ECO  
ESCOLA**



**POLITÉCNICO  
DE LISBOA**

## O que é a compostagem?

É o processo biológico de transformação de biorresíduos em fertilizante orgânico, através de microrganismos aeróbios e condições favoráveis de temperatura e humidade, requerendo a mistura de:

O<sub>2</sub>

H<sub>2</sub>O

C


N

### Porquê fazer Compostagem Doméstica no ISEL?

- ✓ Melhorar o rendimento agronómico;
- ✓ Produzir fertilizante orgânico;
- ✓ Reter a humidade do solo, implicando menos água consumida;
- ✓ Gerir a alimentação do compostor para obter um composto de qualidade;
- ✓ Contribuir para a redução significativa de biorresíduos em aterro;
- ✓ Diminuir as emissões de GEE e custos;

### Compostagem Não desperdice esta ideia!



37%

Biorresíduos nos RU\*



82%

64,2% dos RU vão para aterro e 17,4 % incineração\*



7,2%

Compostagem e DA\*

\*APA, 2020

### O que pode colocar?

Colocar	
<b>Verdes</b> (ricos em azoto)	<b>Castanhos</b> (ricos em carbono)
Restos de Fruta e Vegetais; Flores/plantas sem pesticidas; Ervas daninhas sem sementes; Folhas verdes; Borrás de café e Saquetas de chá (apenas de papel); Cascas de ovo partidas.	Folhas secas; Relva seca; Podas de árvores; Aparas de madeira e serradura; Cereais secos; Cascas de batatas.

**Colocar em pequena quantidade**

Citrinos; Restos de Pão; Restos de legumes cozinhados sem gordura (tapar com terra)

**Não colocar**

Restos de carne; Peixe incluindo ossos e espinhas; Ovos inteiros; Produtos lácteos; Cápsulas de café; Fezes de animais; Óleos e gordura; Autocolantes da fruta, Resíduos não orgânicos (Plástico, Vidro, Metal, Máscaras e Beatas); Papel.

### Como posso participar?

- ✓ No campus do ISEL encontram-se compostores onde pode depositar os biorresíduos;
- ✓ Qualquer pessoa pode colocar biorresíduos (ex. cascas de fruta) contribuindo para um CAMPUS sustentável;
- ✓ Para mais informações sobre a Compostagem no ISEL ou acerca do projeto BioCompost consulte o grupo de Resíduos do ECOCAMPUS em [www.ISEL.pt](http://www.ISEL.pt)



- ✓ ou envie e-mail para o endereço [biocompost.isel2023@gmail.com](mailto:biocompost.isel2023@gmail.com)

IDI&CA- project IPL/2022/BioCompost\_ISEL.  
TFM DO CURSO MEQA

### Objetivos agenda 2030

4

ENERGIA LIMPA

9

INDÚSTRIA, INOVAÇÃO E INFRAESTRUTURAS

11

Cidades e Comunidades Sustentáveis

12

PRODUTOS ECONÓMICOS CIRCULARES

13

AÇÃO CLIMÁTICA

15

VIDA AQUÁTICA

A.L. Pereira, M. T. Santos, A. Rodrigues

**Agradecimentos:**  
CMLisboa  
Bruno Silva  
Patrícia Pereira

## Anexo VIII – Inquérito sobre Compostagem Doméstica

### “Compostagem no ISEL: Não desperdice esta ideia”

## Compostagem no ISEL - Não desperdice esta ideia!

Este inquérito, inserido no projeto BIOCompost e EcoCAMPUS, tem como objetivo reunir a perceção da comunidade do ISEL relativamente à produção de biorresíduos e tratamento dos mesmos no CAMPUS do ISEL através da compostagem.

Este inquérito, é de resposta anónima e confidencial e os dados apurados serão utilizados exclusivamente para efeitos estatísticos.

O preenchimento tem a duração de 3 minutos

*\* Indica uma pergunta obrigatória*

---

1. Género (assinale qual): \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Masculino
- Feminino
- Outro

2. Faixa etária (assinale qual): \*

*Marcar apenas uma oval.*

- 17-25 anos
- 26-35 anos
- 36-45 anos
- 46-55 anos
- 56-65 anos
- >66 anos

3. Habilitações Literárias (escolha uma): \*

*Marcar apenas uma oval.*

- 1º, 2º e 3º Ciclo
- Ensino Secundário
- Ensino técnico-profissional
- Licenciatura
- Mestrado
- Doutoramento

4. Qual a sua posição relativamente às alterações climáticas? Escolha uma: \*

Marcar apenas uma oval.

- Envolvido activamente  
 Preocupado  
 Indiferente  
 Não sabe

5. Que práticas adota no seu dia a dia que contribuem para o combate às alterações climáticas? (pode escolher mais do que uma opção): \*

Marque todas que se aplicam.

- Diminuição da produção de resíduos  
 Reutilização de recursos  
 Separação de resíduos para reciclagem  
 Separação de biorresíduos  
 Outro: \_\_\_\_\_

6. Que práticas identifica, no ISEL, que contribuem para o desenvolvimento sustentável relativamente a resíduos? (pode escolher mais do que uma opção): \*

Marque todas que se aplicam.

- Existência de ecopontos para separação de resíduos recicláveis  
 Existência de compostores para tratamento de biorresíduos  
 Existência de práticas de racionalização e reutilização de recursos  
 Práticas que visam a poupança energética  
 Proteção da conservação da natureza e biodiversidade  
 Utilização de energias renováveis  
 Nenhuma prática  
 Outro: \_\_\_\_\_

#### Produção e tratamento de Biorresíduos

7. Tem interesse em participar na iniciativa Eco Campus/Compostagem no ISEL? \*

Marcar apenas uma oval.

- Sim *Pular para a pergunta 9*  
 Não *Pular para a pergunta 8*

8. Qual a razão pela qual não está interessado em participar na Compostagem no ISEL?

*Marcar apenas uma oval.*

- Não dispõe tempo/disponibilidade
- Não produz biorresíduos no ISEL
- Não sabe onde se encontram os compostores
- Não sabe realizar compostagem
- Gostaria de participar mas não sabe como

9. Já alguma vez participou na compostagem do ISEL colocando biorresíduos num dos compostores existentes no Campus? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

10. Quais dos seguintes resíduos se podem colocar num compostor doméstico? \*  
(pode escolher mais do que uma opção)

*Marque todas que se aplicam.*

- Todos os Biorresíduos (resíduos biodegradáveis de jardins e parques e alimentares crus e cozinhados)
- Biorresíduos, excluindo carne, peixes e alimentos cozinhados
- Relva, podas de árvore
- Papel ou cartão
- Plástico ou metais em quantidades reduzidas
- Vidro em quantidades reduzidas
- Cascas de banana, maçã ou outra fruta

11. Durante o tempo que passa no ISEL, que biorresíduos produz habitualmente?

*Marque todas que se aplicam.*

- Cascas de banana maçã ou outra fruta
- Restos de salada (sem tempero)
- Restos de alimentos não cozinhados e não temperados
- Carne, peixe ou resíduos alimentares cozinhados
- Outro: \_\_\_\_\_

12. Quantos compostores já encontrou no ISEL \*

*Marcar apenas uma oval.*

- 0
- 2
- 4
- 6
- 8

Obrigada pelo seu contributo!

Gostaria de saber algo mais acerca do projeto Eco CAMPUS e acerca do projeto Compostagem no ISEL?

Aceda ao link:

<https://www.isel.pt/o-isel-apresenta-se/sustentabilidade/ambiente/isel-eco-escola>

Coloque qualquer questão:

biocompost.2023@gmail.com

Sabia que pode efetuar o cálculo da sua pegada ecológica e desta forma ter uma melhor perceção do seu impacto no planeta? Clique no link abaixo para aceder:

<https://www.footprintcalculator.org/home/pt>