



**Escola Superior  
Agrária**

Politécnico de Coimbra

**Mestrado em Engenharia Agropecuária**

Maria Edite dos Santos Rodrigues  
(Nº de aluno: 199702018)

**Avaliação do potencial fertilizante de compostos orgânicos  
obtidos a partir da planta invasora jacinto-de-água  
*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms**

Orientador: Daniela Valente Simões dos Santos

Coorientador: Adelaide Homem Perdigão

Coimbra, 2023



**Escola Superior  
Agrária**

Politécnico de Coimbra

**Mestrado em Engenharia Agropecuária**

Maria Edite dos Santos Rodrigues

(Nº de aluno: 199702018)

**Avaliação do potencial fertilizante de compostos orgânicos  
obtidos a partir da planta invasora jacinto-de-água  
*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms**

Relatório de estágio apresentado à Escola Superior Agrária de  
Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção  
do grau de mestre em Engenharia AGROPECUÁRIA

Orientador: Daniela Valente Simões dos Santos

Coorientador: Adelaide Homem Perdigão

Coimbra, 2023

## FINANCIAMENTO

O presente relatório foi realizado no âmbito do projeto: BioComp\_2.0 - Produção de compostos orgânicos biológicos para o controlo do jacinto-de-água e para a valorização de subprodutos agropecuários, florestais e agroindustriais.

Código do Projeto | POCI-01-0247-FEDER-070123

O BioComp\_2.0 é um projeto de I&DT em Copromoção, financiado pelo Compete 2020, Portugal 2020 e União Europeia através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional.

A componente prática da tese foi integralmente desenvolvida no espaço da Escola Superior Agrária do IPC.

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que contribuíram para a realização deste trabalho de pesquisa e conclusão da minha tese de mestrado.

À minha Orientadora Prof.<sup>a</sup> Doutora Daniela Santos, cuja orientação e conselhos foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha Coorientadora Prof.<sup>a</sup> Doutora Adelaide Homem Perdigão, o tempo despendido bem como por todo o conhecimento, conselhos e sugestões dadas.

Um agradecimento especial aos colegas do laboratório de Solos e Fertilidade e Laboratório de Química da ESAC, em especial à Eng<sup>a</sup> Rosinda Leonor Pato.

À Prof.<sup>a</sup> Doutora Filomena Gomes pela colaboração na análise estatística.

À Doutora Verónica Oliveira, investigadora do IPC, pela ajuda ao longo do estágio.

Aos funcionários da ESAC, em especial ao Eng.<sup>o</sup> Filipe Melo, José Borralho e Zaida Pereira pela ajuda incansável nos trabalhos de campo.

À ESAC pela infraestrutura, recursos e ambiente de trabalho proporcionados para o bom desenvolvimento deste projeto.

Agradeço às empresas Colina Generosa e New Organic Planet, cujo suporte foi crucial para a realização deste trabalho. Um agradecimento especial às minhas colegas de trabalho que me apoiaram ao longo desta jornada académica, especialmente à Paula Simões e à Patrícia Assunção.

Às pessoas que participaram da pesquisa, pela partilha de conhecimentos e experiências, essenciais para o desenrolar deste estudo.

À minha família e amigos e a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a sua realização.

Obrigado por fazerem parte desta jornada!

## RESUMO

O presente trabalho avaliou o processo de compostagem de resíduos agroindustriais, agropecuários e florestais, incluindo a invasora jacinto-de-água (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms), e aferiu o potencial fertilizante dos compostos orgânicos obtidos. A compostagem é um processo que permite a reintrodução e valorização dos compostos orgânicos, através do retorno seguro de nutrientes para o solo e melhoria da sua fertilidade global. Considerando a necessidade de dar um bom destino aos subprodutos e resíduos, particularmente à invasora jacinto-de-água, retirada dos nossos cursos de água doce, pretendeu-se com este estudo a avaliação da eficiência agrônômica e a qualidade dos seis compostos obtidos na cultura de alface (*Lactuca sativa* L.). Os compostos testados foram obtidos a partir do jacinto-de-água, bagaço de azeitona, palha de arroz, restos de batata da indústria, estrume, biomassa florestal fracionada e *biochar*. Foram conseguidas misturas equilibradas na razão C/N e humidade que permitiram uma evolução muito favorável do processo de compostagem. Os resultados demonstraram que a viabilidade de produção de compostos com elevada qualidade em nutrientes e capacidade corretiva dos solos a partir do jacinto-de-água é elevada. Dos compostos produzidos, com características aptas para a Agricultura Biológica, destacou-se particularmente um deles, pela evidência dos resultados agrônômicos observados nos ensaios em vaso.

**Palavras-chave:** compostagem, composto, ensaios de eficácia agrônômica, fertilidade do solo, jacinto-de-água (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms), matéria orgânica, resíduos agroindustriais, resíduos florestais.

## **ABSTRACT**

This study evaluated the process of composting agro-industrial, agricultural and forestry waste, including the invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms), and assessed the fertilising potential of the organic compounds obtained. Composting is a process that allows organic composts to be reintroduced and valorised, by safely returning nutrients to the soil and improving its overall fertility. Considering the need to give a good destination to by-products and waste, particularly the invasive water hyacinth, removed from our freshwater streams, the aim of this study was to evaluate the efficiency and quality of the six composts obtained, on lettuce crops (*Lactuca sativa* L.). The compounds tested were obtained from water hyacinth, olive pomace, rice straw, industrial potato waste, manure, fractionated forest biomass and biochar. Balanced mixtures in terms of C/N ratio and humidity were achieved, which allowed the composting process to develop very favourably. The results showed that the feasibility of producing composts with high nutrient quality and soil corrective capacity from water hyacinth is high. Among of the composts produced, with characteristics suitable for organic farming, one particularly stood out due to the evidence of the agronomic results observed in the pot trials.

**Keywords:** composting, compost, agronomic effectiveness trials, soil fertility, water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms), organic matter, agro-industrial waste, forestry waste.

## ÍNDICE

	Pág.
FINANCIAMENTO .....	i
AGRADECIMENTOS .....	ii
RESUMO .....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE DE TABELAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS / ACRÓNIMOS / SIGLAS .....	x
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Enquadramento e motivação.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Organização do trabalho .....	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Enquadramento legal da gestão de resíduos orgânicos.....	3
2.2 A compostagem aeróbia como método de aproveitamento e valorização dos resíduos orgânicos .....	4
2.2.1 A temperatura.....	5
2.2.2 Teor de humidade.....	7
2.2.3 Razão C/N.....	8
2.2.4 pH.....	8
2.3 Características do composto final .....	9
2.4 Considerações sobre o jacinto-de-água <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms .....	11
2.5 Características agronómicas da alface .....	15
2.6 Ensaio de eficácia em vaso.....	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1 Locais dos ensaios .....	17
3.2 Caracterização das pilhas de compostagem.....	17
3.3 Ensaio de eficácia agronómica com a cultura de alface .....	21
3.4 Delineamento experimental e modalidades .....	22
3.5 Preparação do solo envasado .....	25
3.6 Características do solo inicial .....	25
3.7 Procedimentos realizados da plantação à colheita .....	26
3.8 Análises do material vegetal e solos finais .....	28
3.9 Análise estatística .....	29

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1	Evolução da temperatura, humidade, pH e condutividade elétrica nas pilhas de compostagem .....	30
4.1.1	Temperatura e Humidade.....	30
4.1.2	pH e Condutividade elétrica .....	32
4.2	Caracterização dos compostos finais .....	33
4.3	Ensaio de eficácia em vaso .....	35
4.3.1	Produção de matéria verde.....	35
4.3.2	Teor de matéria orgânica no solo .....	41
4.3.3	Teor de potássio e fósforo no solo .....	43
4.3.4	Valores de pH e CTC no solo.....	45
5	CONCLUSÕES.....	49
	BIBLIOGRAFIA .....	52
	ANEXOS .....	56
	Anexo I. Análise da água de rega .....	57
	Anexo II. Parâmetros analisados e metodologias utilizadas nas análises.....	58
	Anexo III. Grau de maturação - teste de Auto-Aquecimento .....	60
	Anexo IV. Esquema de casualização dos vasos no ensaio de alface em estufa.....	62
	Anexo V. Produção de massa verde (gramas) no ensaio de alface em vaso.....	63
	Anexo VI. Análises de solo (inicial e finais) .....	64

## ÍNDICE DE TABELAS

	Pág.
<b>Tabela 1.</b> Variação da capacidade de retenção para a água e para o carbono, de um solo médio com o aumento do teor de matéria orgânica .....	4
<b>Tabela 2.</b> Valores máximos admissíveis para os teores «totais» de metais pesados na matéria fertilizante, por classe (miligramas por quilograma de matéria seca) .	11
<b>Tabela 3.</b> Valores dos parâmetros analisados nas várias matérias-primas iniciais utilizadas na construção das pilhas de compostagem .....	18
<b>Tabela 4.</b> Constituição inicial das várias pilhas de compostagem, respetiva razão C/N e humidade (H) .....	19
<b>Tabela 4.</b> Quantidade de composto (g) a adicionar em cada vaso .....	23
<b>Tabela 5.</b> Tratamentos experimentais e suas siglas (Mistura = pilha; N- azoto).....	24
<b>Tabela 6.</b> Parâmetros analisados ao solo inicial do ensaio em vaso .....	26
<b>Tabela 8.</b> Temperaturas máximas registadas para as 6 pilhas durante o período de compostagem .....	30
<b>Tabela 9.</b> Teor em matéria orgânica, macro e alguns micronutrientes dos compostos ..	34
<b>Tabela 10.</b> Teores em metais pesados nos 6 compostos e valores máximos admissíveis por classes.....	34
<b>Tabela 11.</b> Razão C/N, pH, condutividade, humidade dos compostos.....	34
<b>Tabela 12.</b> Valores das análises microbiológicas aos compostos (Salmonella sp. e E. Coli) .....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Proporções recomendadas como ideais para uma pilha de compostagem.....	5
<b>Figura 2.</b> Diferentes fases de um processo de compostagem, destacando as populações de microrganismos mais representativos e ativos em cada fase do processo. ....	6
<b>Figura 3.</b> Fluxos de temperatura típicos numa pilha de compostagem.....	7
<b>Figura 4.</b> Distribuição mundial do jacinto-de-água. (Fonte: Yan et al., 2017) .....	12
<b>Figura 5.</b> Tapete de jacinto-de-água em floração no rio Mondego .....	13
<b>Figura 6.</b> Aspeto das instalações em que foram realizados os ensaios de produção de composto e de avaliação da eficácia agronómica: hangar (esq.) e estufa (dir.).....	17
<b>Figura 7.</b> Materiais constituintes das pilhas: a- bagaço de azeitona; b- biomassa florestal; c- estrume de bovino; d- jacinto de água; e- casca de batata; f- batata refugio; g- palha de arroz; h- biochar.....	19
<b>Figura 8.</b> Pontos de leitura da temperatura e humidade na pilha; sonda para recolha de composto para análise do pH e condutividade elétrica, e sonda Schaller - humimeter FL2 para leitura da humidade e temperatura .....	20
<b>Figura 9.</b> Aspeto dos vários compostos após a crivagem; compostos acondicionados em bigbags .....	21
<b>Figura 10.</b> Representação da disposição dos vasos em bancada com indicação de rotação de posições dos vasos .....	24
<b>Figura 11.</b> Aferição de volumes de solo para a obtenção da mistura solo dos vasos; mistura de solos e composto; vaso com solo homogeneizado e regado; vasos já identificados com as respetivas misturas. ....	25
<b>Figura 12.</b> Plantação de alface variedade Bola de Neve; local do ensaio na estufa; sistema de rega gota a gota e rede anti pássaros .....	26
<b>Figura 13.</b> Estufa com a rede de ensombramento; alfaces no estágio pré-colheita .....	27
<b>Figura 14.</b> Registo das temperaturas diárias no exterior (mínimas, médias e máximas) ao longo do ensaio em vaso da alface.....	28
<b>Figura 15.</b> Colheita da alface, pesagem da massa verde e secagem em estufa .....	28
<b>Figura 16.</b> Moinho para moenda da alface; solo final de um vaso; separação das raízes e do solo procedendo à sua crivagem .....	29
<b>Figura 17.</b> Evolução da temperatura e humidade nas pilhas de composto .....	31
<b>Figura 18.</b> Evolução do pH nas pilhas ao longo do período de compostagem.....	32
<b>Figura 19.</b> Evolução da CE nas pilhas ao longo do período de compostagem.....	33

<b>Figura 20.</b> Produção por mistura (M5, M6, M8, M9, M12 e M15) nos níveis de fertilidade (50,150,300 e 600 N). Testemunhas T, adubo comercial (A) e composto comercial (C)	36
<b>Figura 21.</b> Produção de alface do composto M9 por níveis de fertilidade; pormenor da modalidade M9 600	37
<b>Figura 22.</b> Comparação da biomassa produzida com a testemunha (T) ao meio, o composto comercial (C) e adubo comercial (A) do lado esquerdo e M12 à direita para os vários níveis de fertilidade	37
<b>Figura 23.</b> Produção de alface por nível de fertilidade (0, 50, 150, 300 e 600 kg N/ha) nas diferentes misturas testadas (M5, M6, M8, M9, M12, M15). Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si de forma significativa ( $\alpha=0,05$ )	38
<b>Figura 24.</b> Produção de alface por mistura (M5, M6, M8, M9, M12, M15) com os diferentes níveis de fertilidade (0, 50, 150, 300 e 600 kg N/ha)	39
<b>Figura 25.</b> Produção de alface entre o adubo (A) e corretivo (C) comerciais, com os 6 compostos em estudo para os níveis de fertilidade (0, 50 e 300 kg N/ha)	41
<b>Figura 26.</b> Teor de MO final no solo nas várias misturas e níveis de fertilidade	42
<b>Figura 27.</b> Teor de MO final no solo, entre o adubo (A) e corretivo (C) comerciais, com os 6 compostos em estudo para os níveis de fertilidade (0, 50 e 300 kg N/ha)	43
<b>Figura 28.</b> Teor de K <sub>2</sub> O final no solo nas várias misturas e níveis de fertilidade	43
<b>Figura 29.</b> Teor de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> final no solo nas várias misturas e níveis de fertilidade	44
<b>Figura 30.</b> Teores de potássio finais no solo, entre o adubo (A) e corretivo (C) comerciais, com os 6 compostos em estudo para os níveis de fertilidade	45
<b>Figura 31.</b> Teor de MO final no solo, entre o adubo (A) e corretivo (C) comerciais, com os 6 compostos em estudo para os níveis de fertilidade (0, 50 e 300 kg N/ha)	45
<b>Figura 32.</b> Valores de pH do solo por mistura e níveis de fertilidade	46
<b>Figura 33.</b> Capacidade de troca catiónica (CTC) final no solo nas várias misturas e níveis de fertilidade	47
<b>Figura 34.</b> Valor de pH final no solo, entre o adubo (A) e corretivo (C) comerciais, com os 6 compostos em estudo para os níveis de fertilidade (0, 50 e 300 kg N/ha)	48
<b>Figura 35.</b> Valor de CTC final no solo, entre o adubo (A) e corretivo (C) comerciais, com os 6 compostos em estudo para os níveis de fertilidade (0, 50 e 300 kg N/ha)	48

## LISTA DE ABREVIATURAS / ACRÓNIMOS / SIGLAS

C - Carbono

C/N - Razão carbono/azoto

CE - Condutividade elétrica

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

CTC - Capacidade de troca catiónica

DGPC - Direcção-Geral de Protecção das Culturas

ESAC-IPC – Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Coimbra

GEE – Gases com efeito de estufa

GPS - Sistema de Posicionamento Global (Em Inglês: Global Positioning System)

H - Humidade

INIAV – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

K<sub>2</sub>O - Óxido de potássio

kg N/ha – Quilograma de azoto por hectare

MF - Matéria fresca

Mg – Megagrama (tonelada)

MO - Matéria orgânica

MS - Matéria seca

N – Azoto

N<sub>2</sub>O - Óxido nitroso (potente gás com efeito de estufa)

NH<sub>3</sub> - Amoníaco

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - Ião amónio

N-NH<sub>4</sub> – Azoto amoniacal

N-NO<sub>3</sub> – Azoto nítrico

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Ião nitrato

one-way ANOVA - Análise de variância simples

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - Pentóxido de fósforo

pH - potencial hidrogeniónico

PVC - Policloreto de vinil

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento e motivação

O aumento da população mundial, acompanhado do aumento de concentração da população em grandes centros urbanos, incrementou a produção de resíduos orgânicos para os quais urge desenvolver soluções adequadas e economicamente viáveis para o seu destino. A reciclagem destes resíduos deverá ter um papel fulcral na bioeconomia circular na Europa, diminuindo os gases com efeito de estufa nos aterros e fornecendo compostos de qualidade aos solos, aumentando a sua fertilidade e mantendo-os saudáveis. Segundo o relatório de 2019 da *European Compost Network* (ECN) estima-se que na União Europeia se produza cerca de 118 a 138 milhões de toneladas de bio resíduos por ano, e apenas 40% sejam transformados em composto orgânico, ocupando Portugal a última posição quanto à quantidade *per capita* transformada (Catita *et al.*, 2023). A par da realidade anteriormente referida, surge uma outra preocupação, de acordo com a Estratégia Nacional de Conservação da Natureza e Biodiversidade 2030 (ENCNB, 2030) o franco desenvolvimento de espécies exóticas ameaça os ecossistemas e põe em risco a biodiversidade. Entre as espécies exóticas invasoras, nomeadamente o jacinto-de-água [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms], também conhecida como jacinto-aquático, é considerada uma das plantas invasoras mais preocupantes no planeta devido à representatividade da sua proliferação. Os grandes tapetes produzidos invadem as massas de água ameaçando a diversidade das espécies autóctones, alterando física e quimicamente o ambiente aquático e impedindo a navegabilidade e o bom funcionamento dos sistemas de rega (Elserafy *et al.*, 2012). A biomassa que é retirada continuamente das nossas massas de água, concentra um teor elevado de nutrientes que devem ser restituídos aos solos, bem como o teor de matéria orgânica que representa. A agricultura circular deve acompanhar a atividade agrícola, convertendo tanto subprodutos como resíduos em novos recursos, valorizando assim dentro de um sistema fechado a criação de novos valores, e consequentemente com vantagens ambientais, económicas e sociais.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho desenvolveu-se no âmbito do projeto BioComp\_2.0 que decorreu de abril de 2021 a setembro de 2023 propondo desenvolver compostos orgânicos biológicos produzidos a partir do resíduo da invasora jacinto-de-água e de subprodutos agropecuários, florestais e agroindustriais, ainda pouco valorizados.

O objetivo principal do projeto era diversificar a oferta de fertilizantes orgânicos (corretivos, substratos e adubos) para responder às crescentes necessidades da Agricultura Biológica, contribuindo, deste modo, para um controlo mais eficaz e economicamente viável do jacinto-de-água, respeitando as premissas da Economia Circular. Os materiais ou subprodutos utilizados, de origem vegetal e/ou animal são todos excedentes originários da região, misturados em diferentes proporções juntamente com o jacinto-de-água, com o propósito de serem valorizados através da transformação num produto com características de corretivo orgânico do solo. Ou seja, com capacidade para melhorar a fertilidade global dos solos (propriedades físico-químicas e biológicas do solo). A viabilidade da compostagem depende da qualidade e consistência do composto final obtido, tendo como principal objetivo a sua comercialização e utilização final.

## 1.3 Organização do trabalho

O estágio, propriamente dito, centrou-se na *i) monitorização do processo de compostagem* em 6 pilhas de grande dimensão, constituídas por misturas diferentes e para as quais foi realizada a parametrização inicial (medições e caracterização analítica dos materiais usados) e parametrização final, com a caracterização analítica, microbiológica e granulométrica dos compostos finais produzidos e *ii) na instalação e acompanhamento dos ensaios de eficácia em vaso* para os 6 compostos resultantes, de acordo com os procedimentos e protocolos desenvolvidos pelo INIAV para dar resposta ao que é exigido pela legislação Decreto-Lei n.º 30/2022 de 11 de abril e (Portaria n.º 185/2022 de 21 de julho), retificada pela (Declaração de Retificação n.º 22-A/2022, de 16 de setembro para a comercialização de novas matérias fertilizantes não harmonizadas. O estágio permitiu acompanhar todo o processo de produção dos compostos tendo-se iniciado com a determinação dos parâmetros físico-químicos das diferentes matérias-primas utilizadas na compostagem, nomeadamente: batata rejeitada, cascas e restos de

batata, biomassa florestal fragmentada, bagaço de azeitona, palha de arroz, estrume de vaca e jacinto-de-água. Ao longo do processo de compostagem foram monitorizados a temperatura, a humidade, o pH e a condutividade elétrica, tendo-se procedido no fim, à caracterização analítica dos compostos orgânicos resultantes. Para os diferentes compostos obtidos, procedeu-se a ensaios em vaso, com 4 níveis de fertilidade em azoto (N) (50, 150, 300 e 600 kg/ha), com o objetivo de avaliar a resposta da cultura da alface (*Lactuca sativa*) em produção de biomassa e a resposta a eventuais problemas de fitotoxicidade, assim como o efeito dos diferentes compostos sobre o solo.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Enquadramento legal da gestão de resíduos orgânicos**

De acordo com a Diretiva (UE) 2018/851 os resíduos orgânicos deverão originar compostos de qualidade que devam ser colocados como matérias fertilizantes no mercado europeu. Na resolução de Conselho de Ministros de 27/2021, o ponto 7 fala na valorização dos subprodutos e resíduos de origem agrícola e da indústria agroalimentar, por forma a reduzir os impactes ambientais e promover a bioeconomia circular, prevista na Agenda Terra Futura. A mesma resolução fala, no ponto 8, da valorização dos bagaços de azeitona com recurso à compostagem e à integração no processo da valorização de efluentes pecuários desde que seja garantida a sua adequabilidade à produção de alimentos e a segurança no seu uso, nomeadamente, nos termos do disposto no Decreto-Lei n.º 119/2019 de 21 de agosto.

No Roteiro para a Neutralidade Carbónica de Portugal 2050 (RNC2050), de 2019, um dos objetivos é o aumento das soluções de compostagem de proximidade, no contexto da transição no setor dos resíduos. A eficiência na utilização de recursos, um dos pontos-chave do processo de compostagem e utilização de composto, irá conduzir a uma redução da quantidade de adubos sintéticos necessários, com reflexo positivo na redução da emissão de gases com efeito de estufa (GEE). O uso de fertilizantes orgânicos na agricultura contribuirá para a substituição da fertilização mineral sintética e para o aumento da utilização de compostos provenientes de resíduos pecuários e das agroindústrias através da compostagem. Uma das metas para 2050 é que cerca de 180.000

ha de solo sejam de agricultura de conservação ou regenerativa, onde haja um aumento significativo do teor de matéria orgânica e consequentemente um aumento da capacidade de sequestro do carbono. A título de exemplo, apresenta-se a Tabela 1 que mostra as variações da capacidade de retenção de carbono num solo médio, com densidade aparente de 1,4, à medida que o teor de matéria orgânica (MO) aumenta. Por cada ponto percentual de aumento da MO o solo retém 154 Mg/ha de carbono e 168 m<sup>3</sup> de água (Catita *et al.*, 2023).

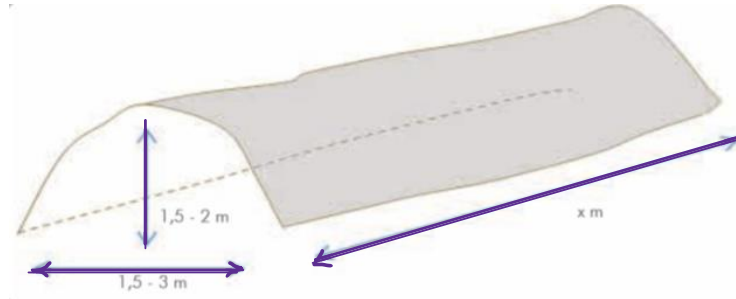
**Tabela 1.** *Variação da capacidade de retenção para a água e para o carbono, de um solo médio com o aumento do teor de matéria orgânica (Adaptado de Catita, D. et. al.,2023)*

<i>Varição do teor de MO</i>	<i>Carbono orgânico (kg/m<sup>2</sup>)</i>	<i>Carbono orgânico (Mg/ha)</i>	<i>Água extra armazenada (litros/m<sup>2</sup>)</i>	<i>Água extra (m<sup>3</sup>/ha)</i>
1%	4,2	154	16,8	168
2%	8,4	308	33,6	336
3%	12,6	462	50,4	504
4%	16,8	616	67,4	672

## **2.2 A compostagem aeróbia como método de aproveitamento e valorização dos resíduos orgânicos**

A compostagem é um processo biológico de tratamento de resíduos e materiais orgânicos, por via aeróbia, que através da ação de microrganismos, converte-os em material orgânico estabilizado e higienizado, podendo este ser utilizado como corretivo orgânico do solo melhorando as suas qualidades. O composto final, rico em nutrientes essenciais, melhora as propriedades físicas-químicas do solo, como o aumento da matéria orgânica, a capacidade de retenção de água e a redução da densidade aparente do solo. Para que o processo de compostagem se desenvolva de forma adequada, são necessárias determinadas condições que garantam o bom desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Os principais parâmetros a considerar para a compostagem aeróbia são: a temperatura; o tipo de materiais a compostar (relação C/N); os teores de humidade e de oxigénio; a dimensão dos materiais a compostar, assim como a dimensão das pilhas de compostagem e respetivas proporções (Figura 1), de forma a não haver zonas de anaerobiose no interior destas. O arejamento passivo exige uma densidade aparente baixa de forma a permitir a difusão do oxigénio da atmosfera para o

interior da pilha de compostagem (Kuo et al., 2004). A densidade do agente de volume está relacionada com a porosidade/arejamento do composto e a sua capacidade de degradação tem alguma influência na conservação do azoto (N).

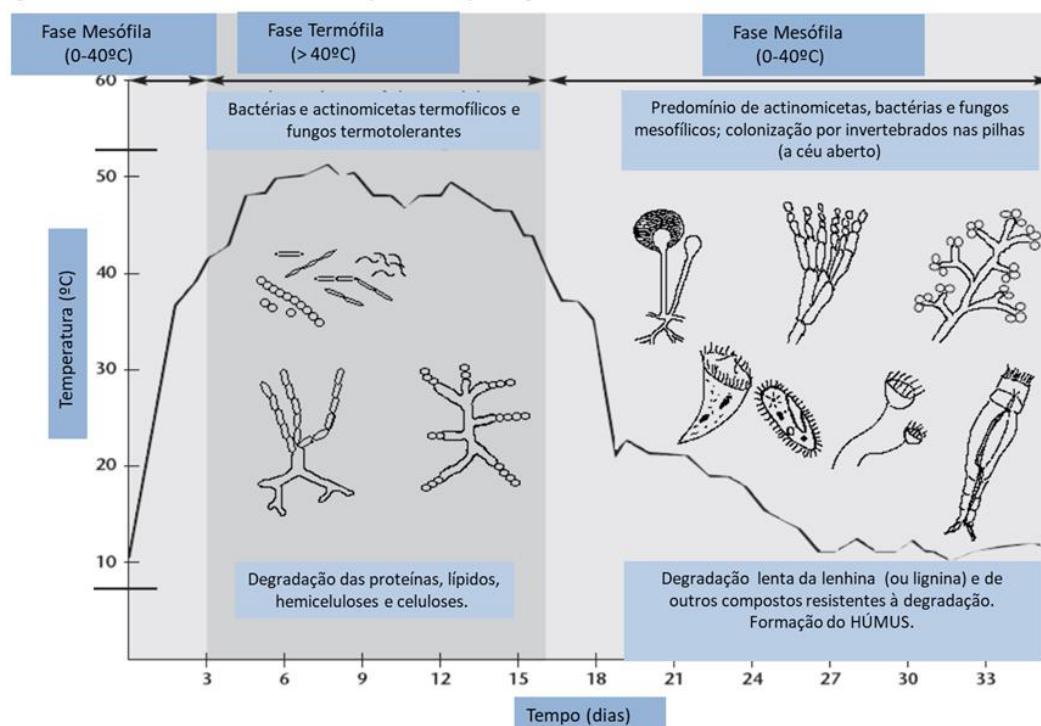


**Figura 1.** Proporções recomendadas como ideais para uma pilha de compostagem (FAO, 2015)

Durante o processo de compostagem, parte do carbono orgânico (CO) é libertado como CO<sub>2</sub>, parte incorporada às células microbianas e parte humificada. O azoto orgânico é mineralizado em N inorgânico (N-NH<sub>4</sub> e N-NO<sub>3</sub>), sendo depois sintetizado como N orgânico na biomassa microbiana e substâncias húmicas (Kuo *et al.*, 2004). As bactérias são, de longe, os decompositores mais importantes durante as fases ativas da compostagem devido à rápida capacidade de crescimento em substratos solúveis e tolerantes a altas temperaturas. As bactérias termofílicas são espécies dominantes a temperaturas superiores a 55 °C, que matam agentes patogénicos (Strom, 1985). Os fungos têm um papel limitado nesta fase da compostagem, a maioria morre acima de 50 °C. Tanto as bactérias como as actinomicetas têm uma relação C/N cerca de 5/1 no seu protoplasma, enquanto os fungos têm aproximadamente uma relação de 10/1 (Alexander, 1977). Estes microrganismos assimilam C e N de uma forma diferente. As bactérias podem utilizar materiais com uma relação C/N de 10-20 enquanto os fungos podem usar materiais com C/N de 150-200 (Griffin, 1985).

### 2.2.1 A temperatura

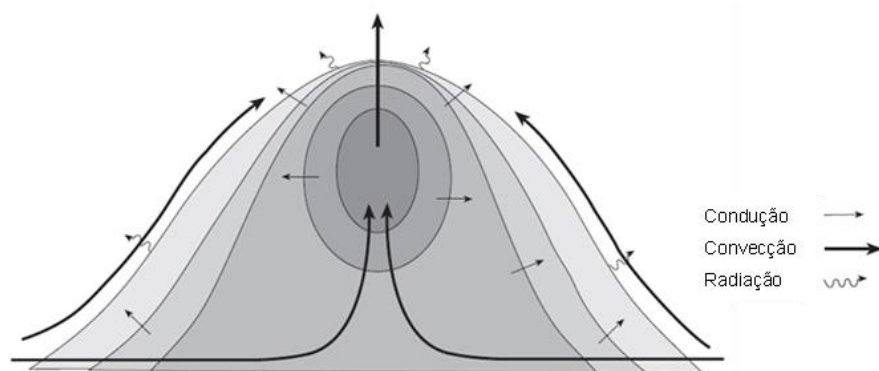
Um dos fatores mais importante no processo de compostagem é a temperatura. A produção de calor é sinal de atividade biológica e conseqüentemente a decomposição da MO. A produção de calor depende do teor de humidade, da relação C/N, do arejamento e do volume da pilha. A compostagem pode ser definida em três fases (Figura 2):



**Figura 2.** Diferentes fases de um processo de compostagem, destacando as populações de microrganismos mais representativas e ativos em cada fase do processo (Adaptado de Trautmann e Krasny, 1997).

*i) Fase Mesófila Inicial*, fase inicial do processo realizada por microrganismos mesófilos (bactérias e fungos), em que rapidamente a temperatura sobe até aos 40-45 °C, pela degradação exotérmica dos componentes solúveis e rapidamente degradáveis, como os açúcares e os aminoácidos. Nesta fase pode haver uma descida dos valores de pH devido à produção de compostos de natureza ácida; *ii) Fase Termófila*, a temperatura no interior da pilha atinge valores acima dos 45 °C com uma atividade metabólica forte, degradam-se as proteínas, gorduras, celuloses e hemiceluloses, assim como parte da lenhina e dos compostos fenólicos, por ação de bactérias e *iii) Fase Mesófila Final* onde as temperaturas vão baixando para valores próximos da temperatura ambiente e a ação metabólica vai diminuindo dando-se a maturação do composto. A decomposição, decorre essencialmente na fase termófila, podendo durar de semanas a meses, dependendo do tamanho e da composição dos materiais iniciais. Na fase termófila, são as altas temperaturas que eliminam os organismos patogénicos e inviabilizam as sementes infestantes. A temperatura elevada, tendo um papel fundamental na compostagem, não deverá ultrapassar os 70-80 °C por longos períodos, acima destes valores poderão comprometer os organismos não termo-tolerantes (Russo, 2003). O registo da

temperatura na pilha, deve ser realizada em vários pontos no seu interior, e no exterior. Sendo a temperatura mais elevada geralmente no centro e na região superior da pilha (Figura 3). A pilha deverá ser revolvida para que haja arejamento ou para diminuir a humidade ou temperatura excessiva. Quando deixar de haver aumento da temperatura, pode-se considerar que a compostagem está terminada e o material estará estabilizado. Assim, a curva térmica da mistura deverá ser monitorizada e acompanhada para que não arrefeça, e deixe de cumprir as funções associadas ao processo térmico, estabilização dos compostos, eliminação de microrganismos patogénicos e inviabilização de sementes.



**Figura 3.** Fluxos de temperatura típicos numa pilha de compostagem (manchas mais escuras correspondem a temperaturas mais elevadas) (Adaptado de Trautmann e Krasny, 1997)

### 2.2.2 Teor de humidade e arejamento

O teor de humidade é um fator muito importante no processo de compostagem para a decomposição da matéria orgânica. Os microrganismos precisam de água e os materiais de compostagem devem estar húmidos de forma adequada, para não inibir a atividade microbiológica (Brito, 2017). O teor de humidade da pilha deverá estar entre os 50 a 70 %, de forma a garantir que a atividade microbiana faça o seu papel. Valores muito baixos de humidade podem diminuir, ou mesmo interromper, o processo de decomposição da matéria orgânica e valores muito elevados podem conduzir a processos de anaerobiose tornando a decomposição mais lenta e com libertação de odores desagradáveis para o meio ambiente. Os valores de humidade iniciais da pilha dependem grandemente dos teores de humidade dos materiais inicialmente utilizados. O arejamento passivo exige uma densidade aparente baixa de forma a permitir a difusão do oxigénio da atmosfera para o interior da pilha de compostagem (Kuo et al., 2004). O teor de oxigénio na pilha

de compostagem deve andar à volta dos 10%, apesar dos microrganismos aeróbios conseguirem sobreviver em meios com apenas 5% de oxigénio. A densidade do agente de volume está relacionada com a porosidade/arejamento do composto e a sua capacidade de degradação tem alguma influência na conservação do azoto (N).

### **2.2.3 Razão C/N**

A razão C/N é importante para a nutrição e crescimento dos microrganismos responsáveis pela degradação da MO ao longo do processo de compostagem. O carbono (C) é a fonte de energia para os microrganismos e corresponde a mais de metade da massa das células microbianas (Brito, 2017). Os materiais lenhosos, possuem uma elevada razão C/N. O azoto (N) é fundamental como constituinte das estruturas celulares e por isso necessário para o crescimento dos microrganismos. As principais fontes de N são os materiais verdes e estrumes. A razão C/N de 30 (p/p) é considerada ideal para o processo de compostagem porque apesar dos microrganismos só possuírem uma razão C/N de aproximadamente 7 a 10 no seu protoplasma, para o processo de biossíntese do seu protoplasma, dois terços do carbono são utilizados pelos microrganismos para obter energia e libertados como dióxido de carbono, e apenas o outro terço do carbono em conjunto com o azoto é utilizado para constituir as células microbianas (Bernal *et al.*, 2017). Se a razão C/N for elevada, o tempo de compostagem aumenta devido à falta de azoto, mas se a razão C/N for baixa, o N perde-se por volatilização na forma de  $\text{NH}_3$ , principalmente com valores de pH e temperatura elevados, aumentando o impacto ambiental, causando maus odores e reduzindo o valor agronómico do composto (Bernal *et al.*, 2017). No início da compostagem a relação C/N dos materiais deverá rondar os 25 a 35 e, durante o processo de compostagem pela oxidação da matéria orgânica com a libertação de  $\text{CO}_2$ , essa relação vai baixando até valores entre 10 e 20.

### **2.2.4 pH**

O valor de pH varia durante o processo, podendo ser um bom indicador do estado de decomposição dos materiais que constituem a pilha. No arranque do processo poderá ter um pH mais ácido, mas depende muito dos materiais constituintes. No início da compostagem, o pH poderá atingir valores aproximados de 5 e vai crescendo gradualmente no decorrer do processo, atingindo, em geral, valores entre 7 e 8 na fase de

estabilização do composto (**Oliveira, 2013**). Valores mais baixos de pH podem indicar uma maturação incompleta seja por períodos curtos do processo ou pela presença de processos anaeróbios no interior da pilha. O valor do pH depende, principalmente, do pH inicial dos materiais existentes na pilha, da produção de  $\text{NH}_3$ , da concentração de bicarbonatos, da concentração de  $\text{CO}_2$  e da concentração de ácidos gordos voláteis. Geralmente, o pH diminui nos primeiros dias, para valores próximos de 5, isto ocorre, porque os fungos e as bactérias digerem a matéria orgânica e são libertados e armazenados ácidos orgânicos que acidificam o meio, favorecendo o crescimento dos fungos e a decomposição da celulose e lenhina. O meio ácido evita as perdas de N, porque o N mineral permanece na forma de  $\text{NH}_4^+$  (enquanto não é nitrificado ou imobilizado) e não se volatiliza na forma de  $\text{NH}_3$ . Posteriormente, os ácidos orgânicos durante o processo de compostagem são decompostos até serem completamente oxidados gerando compostos de reação alcalina, como o amoníaco que provocam o aumento dos níveis de pH para valores elevados. O valor de pH não deve exceder um valor de 8,5 para não ocorrer a transformação  $\text{NH}_4^+$  em  $\text{NH}_3$ . O valor de pH para o desenvolvimento de bactérias decompositoras varia entre 6 e 8, e para os fungos entre 5 e 8,5 (**Correia, 2023**). De acordo com a Portaria nº 185/2022, o pH da matéria fertilizante inserida no Grupo 5 (corretivos orgânicos) deve situar-se entre 5,5 e 9,0.

### 2.3 Características do composto final

A qualidade do produto final dependerá das características das matérias orgânicas utilizadas e da maneira como decorreu todo o processo de compostagem. Para que o composto possa ser utilizado como fertilizante em hortícolas é desejável a sua estabilidade ou maturidade, uma vez que o composto instável ou imaturo é frequentemente odorífero e fitotóxico e interfere com a germinação das sementes devido à elevada concentração de  $\text{NH}_3$ , sal e/ou ácidos orgânicos (Kuo *et al.*, 2004).

Quando se fala em maturação do composto, refere-se ao grau de estabilização e à presença de substâncias citotóxicas. A estabilização do composto é fundamental para que este não provoque desequilíbrio no solo. O composto maturado apresenta um cheiro agradável, teores de nutrientes superiores aos iniciais e não apresenta risco de fitotoxicidade. Um composto estabilizado incorporado ao solo diminui a perda de nutrientes e aumenta a

quantidade de MO e conseqüentemente os níveis de carbono no solo aumentam diminuindo a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (Brito, 2017). São considerados diversos critérios para avaliar a maturação do composto, como temperatura, relação C/N, relação N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, valor da CTC e índice de germinação (Brito, 2017; Francis, J. Larney & Xiyang, 2007). A temperatura, associada à atividade biológica, diminui gradualmente durante a maturação até atingir valores próximos à temperatura ambiente (Brito, 2017). A relação C/N geralmente diminui na compostagem devido à liberação de C como CO<sub>2</sub>, indicando estabilidade quando a relação final é inferior a 20 (Paradelo, Moldes, & Barral, 2013). No entanto, a relação C/N pode ser falaciosa, especialmente quando os materiais iniciais são ricos em N, resultando em valores aparentemente maturados, assim como materiais resistentes à decomposição, como celulose, podem ter uma relação C/N mais alta mesmo quando maturados, devido à disponibilidade reduzida de C orgânico (Brito, 2017). Durante o arrefecimento e maturação, a concentração de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> diminui pela nitrificação, reduzindo a relação N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, para compostos maturados, espera-se uma relação inferior a 1,0 (Larney & Hao, 2007). Harada, *et al.*, (1981) para lixos urbanos considerou que a CTC deveria rondar os 70-80 mmolkg<sup>-1</sup> para um composto maturado. As temperaturas por volta dos 70 °C durante o processo de compostagem, inviabilizam os microrganismos patogênicos à medida que atingem o seu limite térmico letal. As concentrações de metais pesados é uma das preocupações do composto final, estes têm de estar abaixo de determinados limites legais para assegurar a não acumulação no solo nem na biota. Em Portugal, as especificações que constam na Portaria nº185/2022 de 21 de julho, são as exigidas para poder ser colocado no mercado de matérias fertilizantes. Segundo o Anexo II desta portaria, as matérias fertilizantes inseridas no grupo 5 - corretivos orgânicos - o composto deverá ter os seguintes requisitos:

- Teor de matéria orgânica (reportado à MS): ≥ 30%;
- Teor de humidade: ≤ 40%;
- pH: entre 5,5 e 9,0;
- Granulometria: 99% deverá passar por um crivo de malha de 25 mm;
- *Salmonella* spp.: ausente em 5 g de matéria fertilizante produzida;
- *Escherichia coli*: <1000 células/g de matéria fertilizante produzida;
- Sementes e propágulos de infestantes: ≤ 3 unidades ativas por litro;
- Pedras de diâmetro superior a 5mm: ≤ 5,0%;

- Materiais inertes antropogénicos (incluem vidro, metais e plásticos cujas partículas apresentem uma granulometria superior a 2 mm): entre 0,5 e 3,0% conforme a classe de qualidade (Classe I  $\leq$  0,5 %).

Para que possam ser comercializados, devem ainda cumprir os limites impostos relativamente aos teores em metais pesados (Tabela 2). Nesta portaria são ainda apresentadas as restrições de uso tendo em conta as classes de qualidade definidas.

**Tabela 2.** Valores máximos admissíveis para os teores «totais» de metais pesados na matéria fertilizante, por classe (miligramas por quilograma de matéria seca)

Parâmetro	Matéria fertilizante			
	Classe I	Classe II	Classe IIA	Classe III
Cádmio (Cd)	0,7	1,5	3	5
Chumbo (Pb)	100	150	300	500
Cobre (Cu)	100	200	400	600
Crómio (Cr).	100	150	300	400
Mercúrio (Hg)	0,7	1,5	3	5
Níquel (Ni)	50	100	200	200
Zinco (Zn)	200	500	1 000	1 500

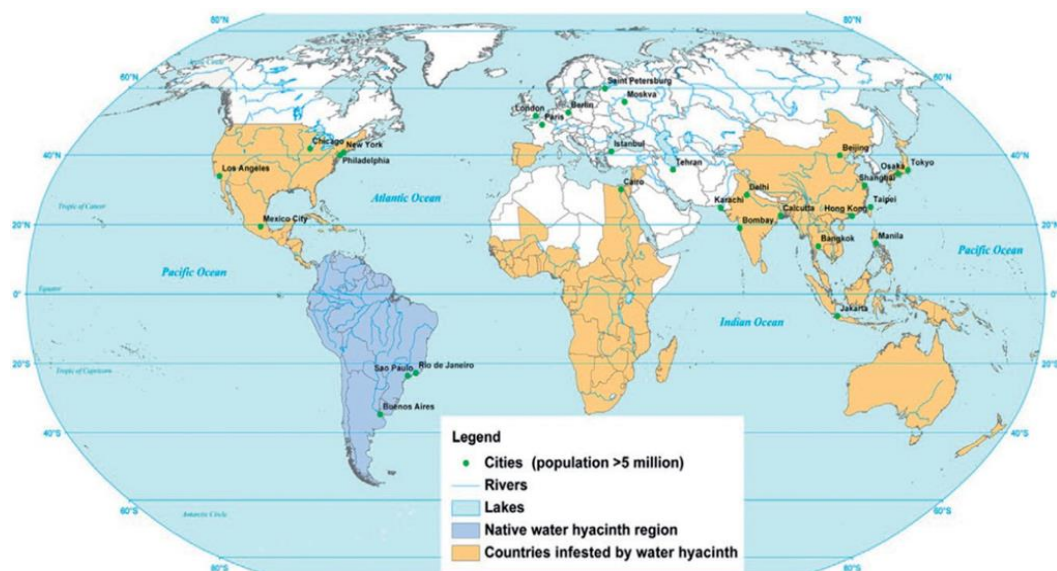
Nota. — Os teores «totais» correspondem à fração solúvel em água-régia.

## 2.4 Considerações sobre o jacinto-de-água *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms

A espécie *Eichhornia crassipes*, conhecida vulgarmente como jacinto-de-água ou jacinto-aquático, tem a sua origem na bacia amazónica. É uma macrófita aquática, de águas mornas, da família *Pontederiaceae*. É uma planta vivaz, rizomatosa, flutuante que se encontra por vezes ancorada às margens, mas sem haver ligação com o solo. Reproduz-se de forma vegetativa, através de estolhos na base dos pecíolos, ou sexualmente, através das sementes, ambos com elevado potencial para a produção de um número elevado de indivíduos num curto período (Barrett, 1980). A reprodução através de sementes é conhecida sobretudo na Amazônia, zona de origem, uma só inflorescência pode produzir cerca de 3000 sementes que podem permanecer viáveis até 20 anos (Aguiar, 2021). A sua

distribuição geográfica é fortemente condicionada pela temperatura (Gopal, 1987; Yan *et al.*, 2017), as condições ótimas de crescimento ocorrem a temperaturas na ordem dos 28-30 °C. Os fatores climáticos e as condições da água são as variáveis mais importantes para o seu crescimento e reprodução, isto é, a concentração em nutrientes e a temperatura da água, são as variáveis que determinam se o jacinto-de-água poderá vir a ser um problema ambiental num determinado local (Wilson *et al.*, 2005). A rápida taxa de crescimento da planta, a capacidade de ser arrastada por correntes de vento e água podem tornar a estimativa da população e a biomassa do jacinto-de-água muito difícil. Esta problemática poderá encontrar uma ajuda importante na tecnologia de sensoriamento remoto hiperespectral com correção GPS, na avaliação da dinâmica de crescimento populacional.

Encontra-se com maior distribuição e com mais impactos negativos entre os 40° N a 45° S (Figura 4), provocando problemas ecológicos, económicos e sociais extremamente graves. Encontra-se hoje naturalizada em mais de 50 países da América Central, Península Ibérica, África, Ásia, Austrália e Nova Zelândia. É considerada uma das plantas mais produtivas e encontra-se entre as 10 piores exóticas invasoras do mundo.



**Figura 4.** Distribuição mundial do jacinto-de-água. (Fonte: Yan *et al.*, 2017)

Forma densos tapetes (Figura 5) que podem ameaçar as espécies nativas locais e alterar o ambiente aquático e consequentemente todo o ecossistema. Em Portugal, durante o inverno as plantas entram em decomposição com o frio, comprometendo a qualidade da

água. No verão, com a temperatura e a radiação solar elevadas, cresce rapidamente e a densidade de biomassa formada impede a entrada da luz solar e do oxigênio na água, levando a uma redução da flora e fauna aquáticas locais.



**Figura 5.** Tapete de jacinto-de-água em floração no rio Mondego, zona de Montemor-o-Velho

Por todo o mundo têm surgido sugestões e estudos para a sua utilização, como ração para bovinos, ovinos, gansos, suínos, etc., como material para produzir biocombustível, e compostos, e também processado para artesanato, móveis e papel (Bai, *et al.*, 2010; Feng, *et al.*, 2011; Fu, 2011). O jacinto tem sido frequentemente sugerido como um agente biológico para a fitorremediação no tratamento de águas residuais ou na gestão de águas eutróficas. As grandes quantidades de resíduos criados pelas habitações, a indústria, a agricultura e extração mineira tem um grande impacto ambiental nomeadamente no aumento dos metais pesados. Tais componentes geram efeitos bioacumuláveis, classificando-os como elementos perigosos que devem ser removidos do ambiente. Vários estudos têm sido feitos com algumas espécies de macrófitas aquáticas, nomeadamente o jacinto-de-água, onde o efeito bioacumulável é aproveitado com vista à remoção de metais pesados nas águas. Segundo Souza & Silva (2019) os resultados obtidos foram conclusivos para a *Eichhornia crassipes* como uma das melhores fitorremediadoras entre as quatro espécies de macrófitas aquáticas flutuantes estudadas. Os potenciais usos do jacinto-de-água têm sido amplamente citados em estudos e reconhecida pela sua grande eficiência hiperacumuladora, tanto pela sua capacidade de remover radionuclídeos de águas residuais de uma vasta gama de fontes até

hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (Ting *et al.*, 2018 citado em Souza & Silva, 2019). A biomassa de jacinto-de-água possui na sua composição cerca de 95% de água, não sendo por isso a mais adequada nem para alimentação animal, nem para a produção de metano ou para a produção de fertilizantes orgânicos. Wang *et al.*, (2011) refere que para a produção de fertilizantes orgânicos a biomassa de jacinto-de-água com um teor 75% de água promoveu um aumento mais rápido na temperatura de fermentação, maior emissão de dióxido de carbono e menor emissão de óxido nitroso. Segundo o estudo, esta redução de humidade otimizou os processos de compostagem de jacinto-de-água, especialmente um rápido aumento na temperatura da pilha e reduziu o tempo de fermentação para atingir um índice de maturidade de composto.

São conhecidas diversas formas possíveis de *controle físico, químico* ou *biológico*, embora nenhuma delas seja por si só de elevada eficácia, devendo na maioria das situações, serem complementadas e articuladas para um resultado final comum evidente no controlo e/ou redução da espécie. A colheita mecânica é um dos processos utilizados para o controlo do jacinto-de-água, no entanto é um método muito dispendioso e pouco eficiente quando se consideram as taxas de colheita por dia, o custo energético por tonelada de massa fresca e a distância de transporte da biomassa. Além disso, obriga ter locais com áreas razoáveis para o depósito da biomassa fresca que depositada em aterros tem custos socioeconómicos e ecológicos elevados devido a possíveis emissões elevadas de dióxido de carbono e metano, bem como de óxido nitroso (Yan, *et al.*, 2017). O controlo físico de muitas das plantas invasoras passa pela valorização das mesmas como matérias fertilizantes, na forma de compostos, chorumes ou outros, dado o teor em nutrientes ser interessante. No entanto, a utilização das mesmas para a produção de algo que possa ser útil e de valor para a sociedade, obriga à definição de protocolos que reúnam um conjunto de procedimentos para a manipulação, transformação e uso em segurança, impedindo ao mesmo tempo, qualquer estímulo à sua produção, assegurando que a valorização é interessante e só se justifica para efeitos de controlo, uma vez que permite aliviar o peso dos elevados custos económicos decorrentes de um controlo eficaz. Perna Gupta e Sadhna Tamot (2022) avaliaram a possibilidade de controlo biológico com auxílio do gorgulho *Neochetina bruchi* e chegaram a resultados promissores sobre o decréscimo da população de jacinto-de-água. Segundo os autores, o controlo biológico pode atuar como uma técnica de gestão das populações para um nível de *stress* permanente, fazendo assim um controlo efetivo a longo prazo. Aconselham, no entanto,

que o controlo se inicie sempre antes da floração para minimizar a produção de sementes. A capacidade de auto perpetuação deste gorgulho é um aspeto positivo no controle biológico, uma vez que diminui a população de jacinto para um nível razoável, de uma forma mais sustentável. *N. bruchi* é muitas vezes referido como "engenheiro ecológico" devido ao número de serviços que presta ao meio ambiente. Apesar da presença de gorgulhos altamente eficazes contra esta invasora, o seu efeito é suscetível de variar com os níveis de perturbação causados por fatores naturais e antropogénicos, além disso a adaptação aos vários climas pode ser limitada. O controlo químico é de elevado impacto ambiental resultando em grandes riscos de poluição difusa pelo ar e água, o que a torna completamente desaconselhada e, no caso do espaço da União Europeia, proibida de ser realizada. Segundo a bibliografia, a gestão eficaz do jacinto-de-água requer uma abordagem integrada, considerando os seus impactos ecológicos, económicos e sociais, com foco na fitorremediação, coprodução sustentável e controle populacional.

## **2.5 Características agronómicas da alface**

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma espécie anual de ciclo curto, cuja duração depende do cultivar e da época de produção. A sua produção em estufa leva cerca de 6 a 8 semanas no período de primavera-verão e 10 a 12 semanas no período de outono-inverno, sendo ainda inferior em experiências com alfaces em vaso (Almeida, 2006). As temperaturas médias de 15 a 20 °C são consideradas ótimas para a produção da maioria das cultivares de alface (Almeida, 2006). O seu ciclo vegetativo inclui a germinação, a formação da roseta, a formação do repolho, o espigamento e a floração. Quando destinada ao consumo, o ciclo cultural termina na formação do repolho. Apesar de se desenvolver numa grande variedade de solos, prefere os solos frescos, com textura franca ou argilosa, bem drenados e ricos em matéria orgânica. A alface é sensível à acidez e o pH ótimo situa-se entre 6,5 e 7 e condutividade elétrica (CE) inferior a 1,3 dSm<sup>-1</sup>. Apesar de pouco exigente, gosta de nutrientes facilmente disponíveis devido ao seu rápido desenvolvimento num período curto e ter um sistema radicular pouco desenvolvido (Almeida, 2006). É uma planta sensível à geada, mas tolera uma luminosidade baixa. Cresce em condições ideais com mais de 10 horas diárias de radiação visível, temperaturas diurnas entre os 15 e 20 °C e noturnas entre os 8 e 12°C. Em climas muito quentes (> 24°C), a alface perde qualidade, endurece, torna-se amarga e o repolho perde a firmeza (Almeida, 2006; DGPC, 2006).

Nas nossas condições climáticas a alface é cultivada durante todo o ano, em estufa preferencialmente de setembro a abril e ao ar livre de março a setembro (DGPC, 2006). Uma vez que a cultura é pouco exigente em N, este nutriente pode ser fornecido através da mineralização da MO do solo (Almeida, 2006). No entanto, é importante determinar a quantidade de MO e o tipo de composto a incorporar no solo para fornecer os nutrientes em quantidades requeridas pela alface e, por outro lado, evitar o excesso de nitratos nas folhas e perdas de azoto (N) por lixiviação de nitratos ou volatilização de amoníaco (Manojlovic, Cabilovski, & Bavek, 2010).

A alface é uma planta que reflete o potencial agronômico dos compostos num curto período, tornando-se ideal para a realização de testes de eficácia, para avaliação dos compostos que se pretendem utilizar como corretivos orgânicos do solo.

## **2.6 Ensaios de eficácia em vaso**

(conforme artigo 20º do Decreto-Lei n.º 30/2022 de 11 de abril)

O composto deve ser objeto de ensaios de eficácia que comprovem a sua segurança, eficácia agronômica e adequação aos solos nacionais. Os ensaios de eficácia revestem a forma de ensaios de campo ou de ensaios em vaso devendo ser seguidas as orientações gerais (métodos de ensaio, delineamento, condução, análise e apresentação de resultados) exigidas pelo INIAV. Estes ensaios podem ser realizados com diferentes culturas, revestindo-se a cultura da alface de interesse, pelo seu rápido crescimento e suscetibilidade à salinidade e a outros efeitos fitotóxicos. O termo fitotoxicidade está habitualmente relacionado à acumulação, nos tecidos das plantas, de substâncias potencialmente nocivas, em níveis que podem afetar o seu desenvolvimento. Os ensaios de eficácia constituem os métodos mais comuns para avaliar a fitotoxicidade e têm por objetivo detetar o efeito da presença de substâncias com efeito fitotóxico em compostos, seja a presença de metais pesados ou formadas devido a condições localizadas de anaerobiose durante a compostagem, o que poderá ocorrer por falta de homogeneização ou por falta de maturação do composto. A demonstração e quantificação da eficácia agronômica de uma matéria fertilizante, através da realização de ensaios em vasos, obedece a critérios de eficácia na nutrição da cultura (produtividade e qualidade) e na melhoria do estado de fertilidade do solo.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Locais dos ensaios

As pilhas de compostagem foram construídas e o processo de transformação desenvolveu-se no hangar da Escola Superior Agrária de Coimbra (ESAC) (40.217, -8.444), construído há cerca de 20 anos devidamente equipado para a produção de composto orgânico, sendo um local bem arejado, com piso impermeável e inclinação orientada para que as escorrências sejam direcionadas para calhas com grelhas nos topos do hangar, tendo um ponto de água e tubagem na qual estão instalados microaspersores (Figura 6). O ensaio de eficácia em vaso com a cultura da alface foi instalado numa das estufas da ESAC dedicada à realização de ensaios em vasos instalados em bancadas (40.215, -8.453) (Figura 6).



*Figura 6. Aspeto das instalações em que foram realizados os ensaios de produção de composto e de avaliação da eficácia agrónómica: hangar (esq.) e estufa (dir.)*

#### 3.2 Caracterização das pilhas de compostagem

O hangar da ESAC reunia as condições necessárias para acolher as pilhas de compostagem, nomeadamente arejamento, abrigo das intempéries, impermeabilização do solo para eventuais escorrências e possibilidade de manobra de máquinas de grande porte para permitir os trabalhos durante o processo.

De acordo com o espaço disponível, e de forma a maximizar todo o aproveitamento da área, foram construídas seis pilhas com várias misturas e diferentes proporções de materiais, sendo que o jacinto-de-água aparece em maior proporção em todas as pilhas.

A decisão sobre a composição das misturas das seis pilhas de compostagem foi tomada após a análise química das matérias-primas disponíveis na região, considerando a relação C/N e o teor de humidade ideal da mistura final para que a compostagem possa arrancar com sucesso. Foram utilizados os seguintes materiais: jacinto-de-água, palha de arroz, estrume de bovino, batata rejeitada, casca e restos de batata, biomassa florestal fracionada (estilha), bagaço de azeitona e *biochar* (Figura 7). A Tabela 3 apresenta os resultados das análises químicas dos materiais iniciais utilizados nas seis pilhas de compostagem.

**Tabela 3.** Valores dos parâmetros analisados nas várias matérias-primas iniciais utilizadas na construção das pilhas de compostagem

Parâmetros Materiais	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	Na	B
	%			%					
Batata pele	52,6	1,87	28,1	0,10	1,14	0,27	0,08	0,15	16,7
Estrume bovino	45,2	2,68	16,9	0,33	1,72	1,10	0,38	0,72	29,0
Estilha florestal	56,0	0,54	103,2	0,03	0,24	0,52	0,08	0,12	9,3
Jacinto de água	42,7	2,30	18,5	0,72	6,87	1,77	0,43	0,13	35,8
Palha de arroz	51,5	0,60	86,5	0,10	1,33	0,21	0,18	0,06	5,4
Bagaço azeitona	55,4	1,36	40,9	0,09	1,10	0,13	0,05	0,10	18,4
Biochar	53,6	0,93	57,6	0,06	0,12	0,40	0,09	0,08	20,9
Batata rejeitada	52,7	1,86	28,3	0,10	2,49	0,06	0,12	0,01	7,6

Parâmetros Materiais	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Cr	Pb	Ni
	mg kg <sup>-1</sup>							
Batata pele	1590	52,3	13,4	20,8	0,29	4,44	1,29	1,72
Estrume bovino	800	189,5	112,4	35,6	0,07	2,95	0,24	2,36
Estilha florestal	135	459,3	4,1	4,8	0,03	0,81	0,10	0,71
Jacinto de água	2654	527,5	157,2	20,8	0,11	4,44	1,42	8,15
Palha de arroz	251	1536,1	20,9	2,3	0,02	2,35	0,13	0,74
Bagaço azeitona	399	18,7	24,1	47,3	0,01	42,81	0,52	2,44
Biochar	2028	54,3	84,6	50,4	0,16	6,76	14,84	4,34
Batata rejeitada	189	18,1	23,1	6,1	0,09	1,33	0,12	0,68

A análise da composição físico-química dos resíduos e subprodutos iniciais utilizados na composição das pilhas não apresentou qualquer limitação de utilização, permitindo assim, criar as seis misturas com o equilíbrio adequado entre carbono/azoto, assim como garantiu a produção de composto de qualidade sem potenciais impactos ambientais negativos como, por exemplo, o risco de vir a aumentar o teor em metais pesados do solo.



**Figura 7.** Materiais constituintes das pilhas: a- bagaço de azeitona; b- biomassa florestal; c- estrume de bovino; d- jacinto de água; e- casca e restos de batata; f- batata refugo; g- palha de arroz; h- biochar

Para a otimização das razões C/N e humidade de cada mistura utilizou-se o *software* “Cornell Composting (2014)”. Os materiais foram dispostos em camadas, dando-se a forma de pilhas com secção trapezoidal a triangular e base retangular, perfazendo volumes médios de 16 a 19 m<sup>3</sup> por pilha (L = 3 m; A = 1,8 m; C = 6 m). A disposição dos materiais foi em camadas sobrepostas e a granulometria foi a original dos materiais. A Tabela 4 apresenta os valores iniciais da razão C/N e humidade para cada pilha, de acordo com as 6 formulações eleitas para a produção dos compostos.

**Tabela 4.** Constituição das várias pilhas de compostagem, respetiva razão C/N e humidade (H)

Misturas	Jacinto-de-água	Bagaço de azeitona	Casca/restos de batata	Batata rejeitada	Estilha florestal	Estrume de bovino	Palha de arroz	Biochar	C/N	H (%)
M 5	x	x	x						34,9	69,9
M 6	x	x		x		x			28,0	65,9
M 8	x	x		x			x		38,5	64,8
M 9	x	x			x			x	48,4	70,7
M 12	x				x				51,5	67,3
M 15	x	x	x				x		38,4	66,9

O período de compostagem foi de 243 a 251 dias (cerca de 8 meses) com um total de 10 revolvimentos e regas efetuadas sempre que necessário. A água utilizada para a rega foi analisada (Anexo I). Os resultados indicam ser água de boa qualidade, sem restrições na sua composição e ligeiramente ácida.

Ao longo do período de compostagem foram efetuados 10 revolvimentos das pilhas, quando as temperaturas se registavam elevadas, verificando-se rápido decréscimo da temperatura, acompanhado por um aumento da humidade; ou eram reviradas para melhor homogeneização da humidade nas pilhas. Os parâmetros analisados durante todo o processo de compostagem foram a temperatura e humidade (3 vezes por semana num total de 8 pontos por pilha, 3 em cada lateral e um em cada topo, de acordo com a Figura 8), a CE e pH de 3 em 3 semanas (intervalos de 21 dias). Os registos da temperatura e da humidade foram obtidos com a sonda *Schaller-humimeter FL2*, orientada para o centro da pilha, até à profundidade de 50 cm (Figura 8). Para avaliação do pH e CE foram feitas colheitas do material, através de uma sonda, nos 8 pontos da pilha (Figura 8). Desse material, depois de bem homogeneizado, foi retirada uma amostra compósita e enviada para o laboratório para análise de acordo com as metodologias analíticas adequadas (Anexo II).



**Figura 8.** Pontos de leitura da temperatura e humidade na pilha (esq.); sonda para recolha de composto para análise do pH e condutividade elétrica, em laboratório, e sonda *Schaller-humimeter FL2* para leitura da humidade e temperatura na pilha (dir.)

No final do processo, após conclusão da maturação por pilha, teste de autoaquecimento (Anexo III), o composto final foi crivado em malha de 25 mm, respeitando os critérios para a valorização comercial, e recolhido para *bigbags* (Figura 9).



**Figura 9.** Aspeto dos vários compostos após a crivagem (esq.); compostos acondicionados em bigbags após crivagem (dir.)

Foram enviadas para laboratório amostras dos compostos finais estabilizados, para serem determinados os seguintes parâmetros:

- Físico-químicos: humidade, pH, condutividade elétrica, matéria orgânica, azoto total, fósforo total, carbono total, potássio total, cálcio total, magnésio total, relação C/N, boro total, massa volúmica aparente;
- Metais pesados: cádmio, crómio, cobre, níquel, chumbo, mercúrio e zinco «totais»;
- Microbiológicos: *Salmonella* spp. e *Escherichia coli*;
- Grau de maturação e fitotoxicidade;
- Materiais inertes antropogénicos e pedras;
- Sementes e propágulos de infestantes.

### 3.3 Ensaio de eficácia agronómica com a cultura de alface

Para avaliar a eficácia agronómica dos 6 compostos foi realizado um ensaio de crescimento em vasos, utilizando a cultura da alface (*Lactuca sativa*) e respeitando os procedimentos e protocolos desenvolvidos pelo INIAV para as novas matérias fertilizantes não harmonizadas a serem comercializadas (Decreto-Lei n.º 30/2022 de 11 de abril e Portaria n.º 185/2022 de 21 de julho, retificada pela Declaração de Retificação n.º 22-A/2022, de 16 de setembro). Foram seguidas as orientações disponibilizadas pelo INIAV, de acordo com o número 7 do artigo 20º do DL 30/2022. Nestas orientações são indicados os métodos de ensaio destinados à avaliação dos parâmetros referidos,

fornecendo informações gerais em relação ao seu delineamento, condução, análise e apresentação de resultados. O documento está disponível no sítio do INIAV (<https://www.iniaiv.pt/colocacao-mercado-materias-fertilizantes>) e designa-se “Colocação no Mercado de Matérias Fertilizantes não Harmonizadas: Orientações para realização de ensaios de eficácia para efeitos de aditamento de novos tipos de matérias fertilizantes”.

É consensual a utilização da alface nos protocolos de ensaios em vaso por ser uma hortícola com representatividade comercial, sensível, eficaz na absorção de elementos disponíveis no solo e de crescimento rápido. A avaliação dos compostos, fez-se determinando a produção da alface e analisando a composição do material vegetal e do solo após conclusão do ensaio.

Realizou-se a caracterização analítica das seguintes amostras do ensaio em vasos:

- Amostra compósita do solo inicial utilizado;
- Matérias fertilizantes utilizadas (compostos);
- Água de rega (Anexo I);
- Material vegetal, recolhido em cada vaso ao fim do ensaio (5 repetições por tratamento);
- Solos, amostra recolhida em cada vaso no final do ensaio (5 repetições por tratamento).

### **3.4 Delineamento experimental e modalidades**

Feita a caracterização química dos compostos, procedeu-se à decisão dos níveis de fertilidade a utilizar com base nas unidades de azoto veiculadas por cada composto. Foram estabelecidos 4 níveis de fertilidade (50, 150, 300 e 600 kgN.ha<sup>-1</sup>) mais a testemunha que corresponde ao solo sem a adição de matéria fertilizante (0 kg N.ha<sup>-1</sup>).

Os níveis de fertilidade a considerar dependem das necessidades médias de azoto para a cultura a utilizar nos ensaios, a alface, de acordo com o Manual de Fertilização das culturas (INIAV, 2017). Segundo o mesmo, para os níveis de menor produção da alface, as necessidades são de 50 a 80 kg N/ha, para as produções máximas são de 150 a 180 kg N/ha. De acordo com o guião para os ensaios de eficácia (INIAV, 2022, <https://www.iniaiv.pt/colocacao-mercado-materias-fertilizantes>), deve-se aumentar os

níveis de fertilidade respeitando uma série geométrica com razão constante, de modo que uma das modalidades coincida com a dose máxima permitida para a matéria fertilizante ou referida no rótulo como adequada para a cultura teste. Neste caso, corresponde a 300 kg N/ha, e outra que seja superior a esta, esperando-se que possa vir a provocar limitação de desenvolvimento da cultura por saturação do meio ou eventuais efeitos de toxicidade. Neste caso corresponde ao nível de 600 kg N/ha.

A distribuição espacial dos vasos foi feita respeitando-se a casualização completa das modalidades experimentais (Anexo IV), tendo-se optado por ensaiar quatro níveis de fertilidade (50, 150, 300 e 600 unidades de azoto/ha) com os compostos, considerando-se as testemunhas: solo sem qualquer matéria fertilizante, adubo orgânico (A) e corretivo orgânico (C), ambos produtos comercializados e disponíveis no mercado e aplicados apenas a dois níveis de fertilidade (50 e 300 kg N/ha), também em 5 repetições, perfazendo um total de 145 vasos cultivados. Os compostos foram agrupados em três conjuntos (M5 e M15) (M6, M9 e M8) e M12, de acordo com o seu teor médio em N e feitos os cálculos, tendo-se obtido as seguintes quantidades arredondadas à décima ou unidade, a adicionar aos respectivos vasos para garantir os níveis de fertilidade pré-definidos (Tabela 4).

**Tabela 5.** Quantidade de compostos, corretivo e adubo comerciais (g) a adicionar em cada vaso de acordo com os níveis de fertilidade

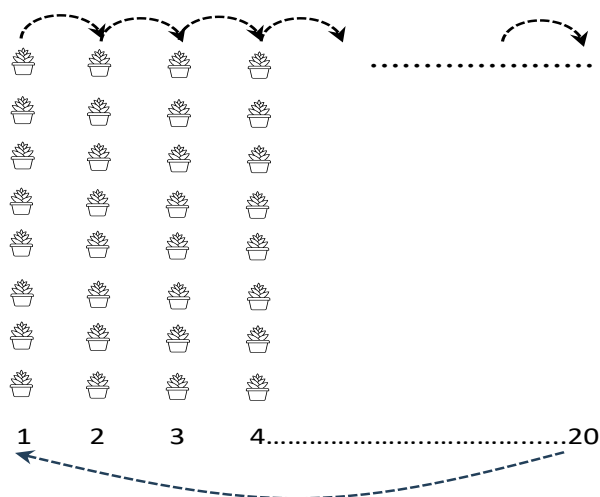
N (kg/ha)	50	150	300	600
<b>Material fertilizante</b>	Quantidade por vaso (g)			
M5	6	18	36	72
M15				
M6	7,5	22,5	45	90
M9				
M8				
M12	15	45	90	180
C	8,5	-	51	-
A	6,5	-	39	-

Os vinte e nove tratamentos, e respetivas siglas, encontram-se descritos na Tabela 5.

**Tabela 6.** *Tratamentos experimentais e suas siglas (Mistura = pilha; N- azoto)*

Tratamento	Sigla	Tratamento	Sigla	Tratamento	Sigla	Tratamento	Sigla
Testemunha (sem fertilizante)	<b>T</b>	Mistura 5 600 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M5 600</b>	Mistura 8 600 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M8 600</b>	Mistura 12 600 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M12 600</b>
Corretivo comercial 50 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>C 50</b>	Mistura 6 50 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M6 50</b>	Mistura 9 50 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M9 50</b>	Mistura 15 50 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M15 50</b>
Corretivo comercial 300 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>C 300</b>	Mistura 6 150 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M6 150</b>	Mistura 9 150 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M9 150</b>	Mistura 15 150 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M15 150</b>
Adubo comercial 50 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>A 50</b>	Mistura 6 300 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M6 300</b>	Mistura 9 300 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M9 300</b>	Mistura 15 300 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M15 300</b>
Adubo comercial 300 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>A 300</b>	Mistura 6 600 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M6 600</b>	Mistura 9 600 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M9 600</b>	Mistura 15 600 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M15 600</b>
Mistura 5 50 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M5 50</b>	Mistura 8 50 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M8 50</b>	Mistura 12 50 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M12 50</b>		
Mistura 5 150 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M5 150</b>	Mistura 8 150 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M8 150</b>	Mistura 12 150 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M12 150</b>		
Mistura 5 300 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M5 300</b>	Mistura 8 300 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M8 300</b>	Mistura 12 300 kg Nha <sup>-1</sup>	<b>M12 300</b>		

A Figura 10 apresenta a disposição dos vasos sobre as bancadas e o sistema de rotação definido para assegurar que todas as linhas estejam durante o mesmo tempo sujeitas às mesmas condições ambientais (intensidade luminosa e arejamento), ou seja, todas as linhas ocuparam posições iguais durante 3 dias.



**Figura 10.** *Representação da disposição dos vasos em bancada com indicação da rotação de posições dos vasos*

### 3.5 Preparação do solo envasado

Para o ensaio utilizaram-se 145 vasos em PVC preto de 4,5 litros de capacidade. Para assegurar que o suporte de produção era suficientemente pobre em nutrientes, garantindo assim a evidência do efeito fertilizante dos corretivos, obteve-se uma mistura 50/50 de areia de pinhal da zona de Mira (de um *podzol*) e de um solo franco-limoso de uma das parcelas não cultivadas da ESAC, sem fertilização ou tratamento fitossanitário, ambos colhidos à profundidade de 20 cm. Depois dos solos crivados, retiraram-se 2 l de cada um, aos quais foram adicionados os compostos das diferentes misturas, corretivo e adubo comerciais, nos diferentes níveis de fertilidade, nas quantidades apresentadas na Tabela 5. Depois de corretamente homogeneizadas, as misturas foram colocadas nos vasos, devidamente identificados. A cada vaso foi adicionado 800 ml de água (Figura 11). A preparação dos solos com os compostos ocorreu no dia anterior ao da plantação



*Figura 11. Da esquerda para a direita: aferição de volumes de solo para a obtenção da mistura solo dos vasos; mistura de solos e composto; vaso com solo homogeneizado e regado; vasos já identificados com as respetivas misturas.*

### 3.6 Características do solo inicial

O solo inicial resultante da mistura realizada e utilizado no ensaio em vaso, apresentou as características que constam da Tabela 7. Tal como o pretendido para que não fossem mascarados os efeitos dos compostos sobre o desenvolvimento da cultura, o solo inicial utilizado no ensaio em vasos trata-se de um solo de textura mediana, pobre em matéria orgânica e nutrientes e pH de 6,4.

**Tabela 7.** Parâmetros analisados ao solo inicial do ensaio em vaso

Parâmetros	Teor	Parâmetros	Teor
Textura de campo	Média	Magnésio (cmol Mg <sup>2+</sup> kg <sup>-1</sup> )	0,76
Terra fina ( $\Phi < 2\text{mm}$ ) (%)	82,94	Ca/Mg	3,13
Mat. Orgânica (%)	0,748	Mg/K	7,6
pH (H <sub>2</sub> O)	6,41	Cobre extraível (mg Cu kg <sup>-1</sup> )	1,85
Fósforo extraível (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg <sup>-1</sup> )	28,38	Zinco extraível (mg Zn kg <sup>-1</sup> )	0,49
Potássio extraível (mg K <sub>2</sub> O kg <sup>-1</sup> )	40	Ferro extraível (mg Fe kg <sup>-1</sup> )	43,5
Potássio (cmol K <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	0,1	Manganês extraível (mg Mn kg <sup>-1</sup> )	9,08
Sódio (cmol Na <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	0,17	Boro (mg B kg <sup>-1</sup> )	0,31
Cálcio (cmol Ca <sup>2+</sup> kg <sup>-1</sup> )	2,38	CTC	3,7

### 3.7 Procedimentos realizados da plantação à colheita

As alfaces (*Lactuca sativa* L.) da variedade “Bola de Neve” foram adquiridas já com 6-7 folhas completas (Figura 12). Esta variedade de aspeto amanteigado caracteriza-se por formar um repolho arredondado, não muito compacto, de folhas lisas, delicadas e tenras, sendo de coloração verde-amarelada. É uma excelente variedade de Primavera/Verão com ótima produtividade que quando produzida em estufa aconselha-se a plantação em fevereiro/março.



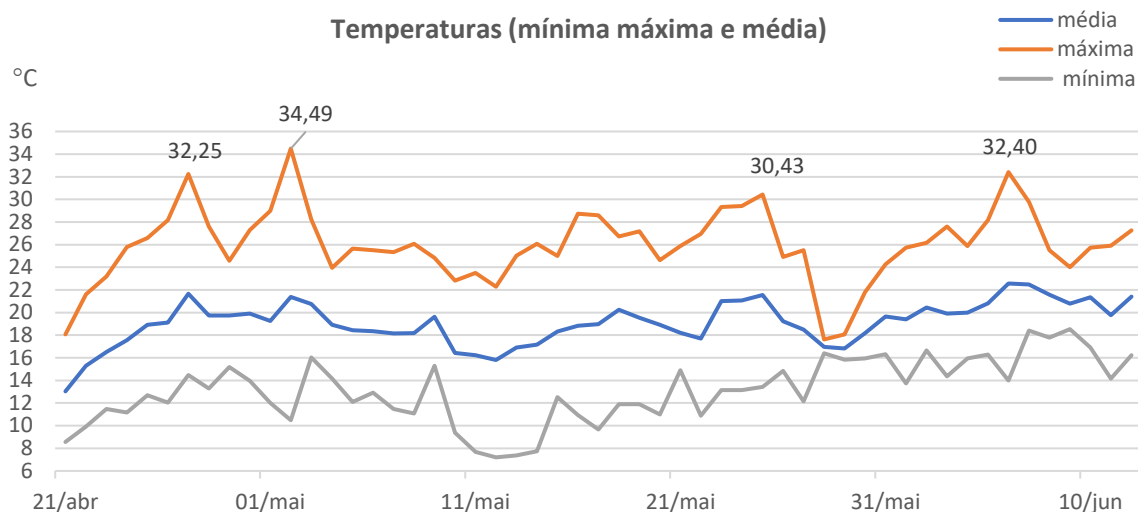
**Figura 12.** Da esquerda para a direita: plantação de alface variedade Bola de Neve com 6 a 7 folhas definitivas; local do ensaio na estufa; sistema de rega gota a gota e rede anti pássaros

A plantação realizou-se no dia 21 de abril de 2023, mais tardiamente do que o recomendado para esta variedade. Os vasos foram colocados na estufa, de forma totalmente aleatória (Anexo II), numa bancada a um metro de altura do solo. Instalou-se um sistema de rega gota-a-gota, com gotejador por vaso, que fornecia a água sempre que necessário de modo a garantir o conforto hídrico em todo o período de crescimento. Foram colocados pratos para o caso de haver lixiviados e estes serem repostos nos vasos, evitando-se qualquer perda de nutrientes do sistema. De modo preventivo e por ser um sério risco a presença de pássaros, optou-se por colocar rede anti pássaros para evitar que estes defecassem nos vasos e debicassem as folhas de alface. Durante o ciclo vegetativo retiraram-se todas as infestantes, assim que surgiam, para que não houvesse absorção de nutrientes por estas. Com temperaturas máximas relativamente elevadas, optou-se por se colocar uma rede de ensombramento de forma a diminuir o excesso de temperatura provocado pela radiação incidente (Figura 13).



**Figura 13.** Estufa com a rede de ensombramento (esq.); alfaces no estágio pré-colheita (dir.)

Durante o período de crescimento as temperaturas que se fizeram sentir foram elevadas, especialmente no início e final de maio, e no início de junho, com temperaturas exteriores acima dos 30 °C (máximas de 32,4 °C, Figura 14), o que provocou alguma antecipação do espigamento da alface, mesmo antes de terem atingido o pleno crescimento comercial. Logo que a maior parte da população evidenciou estar a iniciar o espigamento, fez-se a colheita (Figura 13). Tal aconteceu no dia 12 de junho, quando a alface completava 51 dias de crescimento em vaso. A parte aérea de cada planta colheu-se individualmente e foi quantificada a produção, peso fresco de folhas por alface.



**Figura 14.** Registo das temperaturas diárias no exterior (mínimas, médias e máximas) ao longo do ensaio em vaso da alface (dados da estação agrometeorológica da ESAC: 21 de abril a 12 de junho de 2023).

### 3.8 Análises do material vegetal e solos finais

Depois de pesadas, as alfaces foram lavadas com água destilada e deixadas a escorrer sobre papel absorvente (Figura15). Foram a secar à estufa a 60 °C e, depois de secas, foram pesadas e procedeu-se à moenda por malha de 0,5 mm (Figura 16). As amostras de alface foram enviadas para o laboratório para se quantificarem os macronutrientes (azoto Kj, fósforo, potássio, cálcio e magnésio), os micronutrientes e os metais pesados (cádmio, chumbo, cobre, crómio, mercúrio, níquel e zinco).



**Figura 15.** Da direita para a esquerda: colheita da alface, pesagem da massa verde e secagem em estufa depois de lavadas com água destilada

Feita a colheita, crivou-se a terra de cada vaso individualmente para a separação das raízes (Figura 16), e foi retirada uma amostra de solo para análise.



**Figura 16.** Da direita para esquerda: moinho para moenda da alface; solo final de um vaso de alface; separação das raízes e do solo procedendo à sua crivagem para envio para laboratório.

Os solos foram enviados para laboratório para determinação de pH, matéria orgânica, nutrientes (azoto, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, sódio), micronutrientes e metais pesados «totais» extraíveis por água-régia (cádmio, chumbo, cobre, crómio, níquel, zinco) e mercúrio total. Foi realizada uma amostra compósita de cada modalidade para a análise e caracterização microbiológica dos solos relativa aos organismos agronomicamente funcionais (quantificação de desnitrificantes, fixadores de N, total de fungos e organismos aeróbios). Estes resultados que não são tratados no presente relatório porque não é informação pretendida nos ensaios de eficácia agronómica em vaso.

### **3.9 Análise estatística**

Os resultados da análise estatística realizada e que são apresentados no capítulo 3, foram obtidos pelo tratamento das médias de 5 repetições, com o respetivo desvio padrão. Foi realizada a análise de variância uni-fatorial (one-way ANOVA) e quando se observaram diferenças significativas, utilizou-se o teste de Tukey para identificar em que tratamentos ocorrem diferenças significativas com um nível de significância de 5% ( $p=0,05$ ) e recorrendo ao programa Statistix 10.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Evolução da temperatura, humidade, pH e condutividade elétrica nas pilhas de compostagem

#### 4.1.1 Temperatura e Humidade

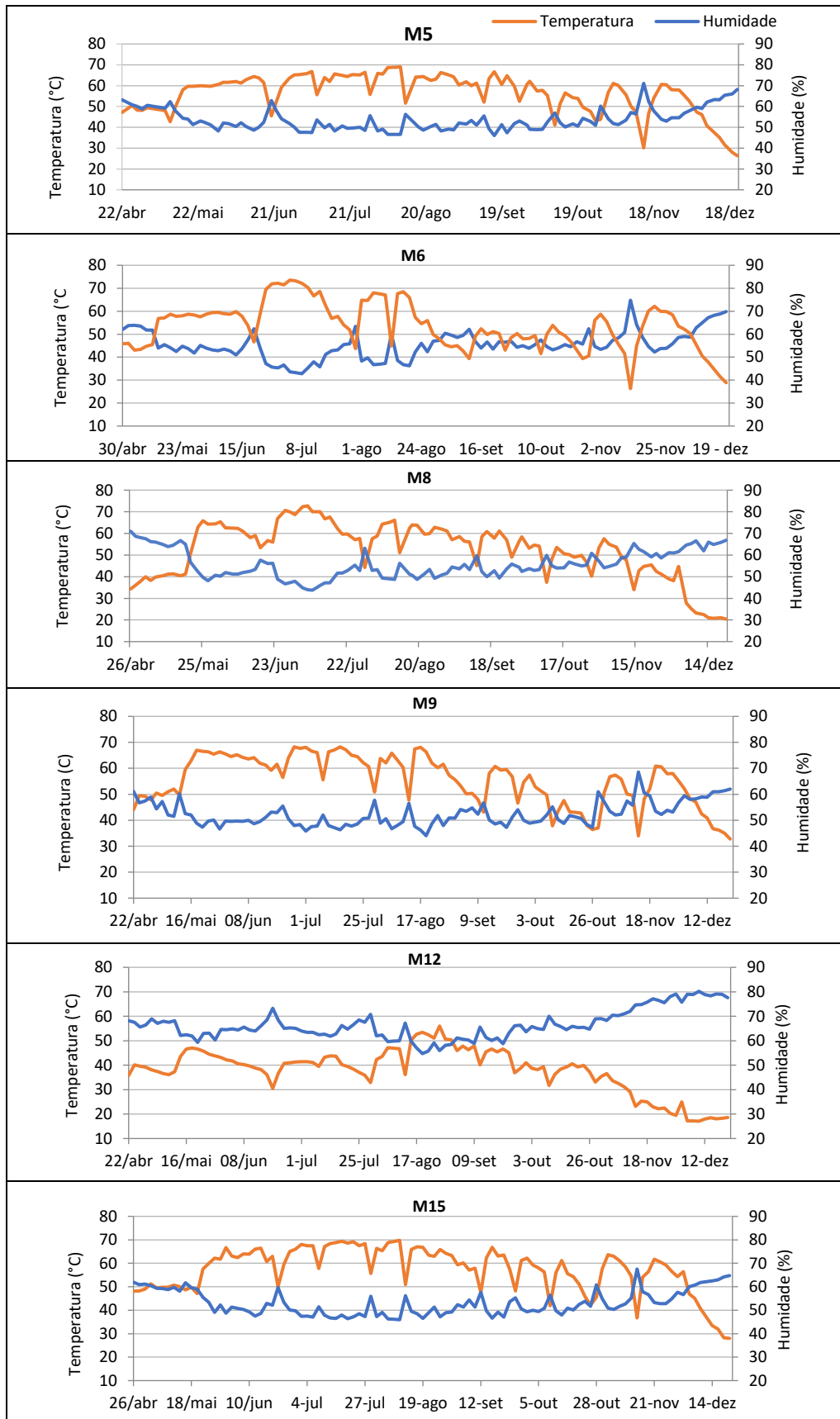
Os gráficos com a evolução da temperatura e humidade registadas ao longo de todo o ciclo da compostagem nas 6 pilhas: M5, M6, M8, M12 e M15, são apresentados na Figura 17. Os compostos formados atingiram a maturação ao fim de 34,5 a 36 semanas. O padrão dos perfis de temperatura e humidade permitem observar que as temperaturas e humidade evoluíram sempre de forma oposta, em contraciclo. As temperaturas mais elevadas ocorreram até cerca de 150 dias após o início do processo (fase termófila). A partir dos 150 dias, as temperaturas máximas passaram a ser mais reduzidas, indicando que a atividade microbiana estava a abrandar, a caminho de uma estabilidade (início da fase mesófila), aproximando-se efetivamente as temperaturas das pilhas à temperatura ambiente apenas ao fim de 240-250 dias.

Na Tabela 8 são apresentados os valores máximos de temperatura atingidos por cada pilha.

*Tabela 8. Temperaturas máximas registadas para as 6 pilhas durante o período de compostagem*

<i>Pilhas</i>	<i>M5</i>	<i>M6</i>	<i>M8</i>	<i>M9</i>	<i>M12</i>	<i>M15</i>
<i>T. máxima (°C)</i>	69	73,6	72,8	68,3	56	69,8

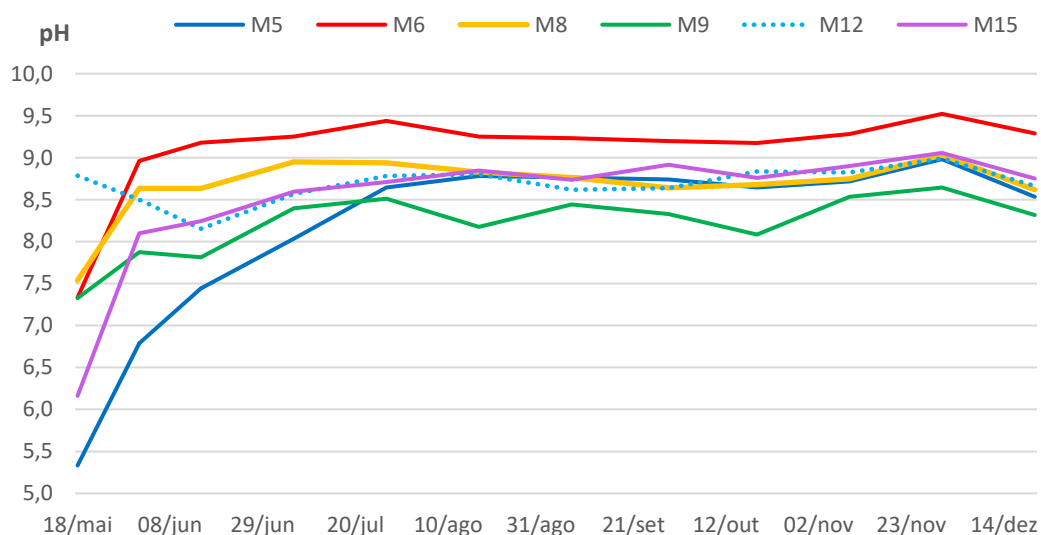
Confirmando-se que ocorreram as condições necessárias a uma boa higienização e inviabilização de propágulos, excetuando-se a pilha M12 que manifestou sempre um comportamento diferenciado, com elevados teores de humidade e baixas temperaturas. Tal dever-se-á a uma atividade microbiológica mais branda devida à sua constituição original.



**Figura 17.** Evolução da temperatura e humidade nas pilhas de composto

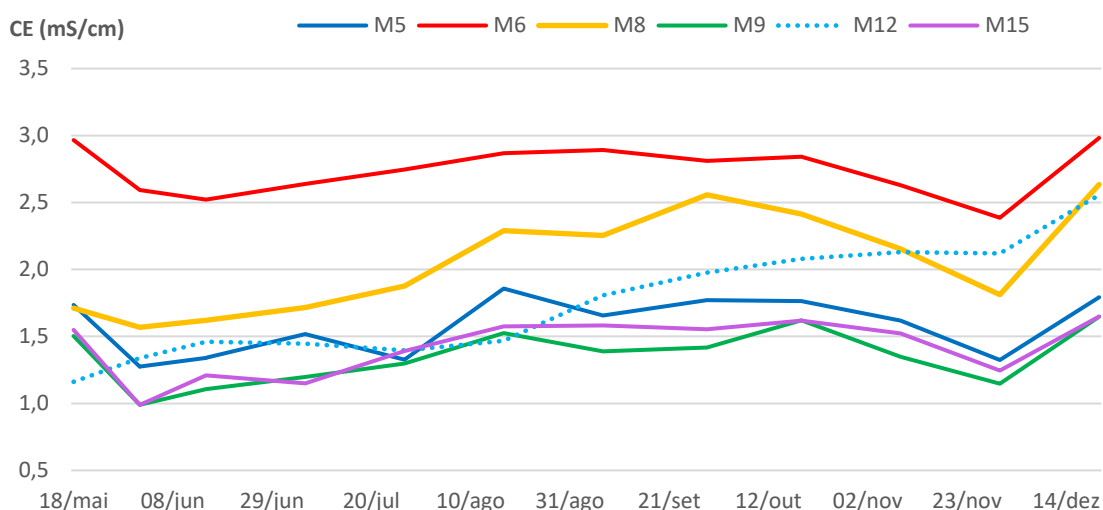
#### 4.1.2 pH e Condutividade elétrica

A evolução do pH ao longo do período de compostagem é apresentada na Figura 18, observando-se que em todas as pilhas, com exceção da M12, o processo arranca com pH entre 5 e 7,5; ou seja, dentro do intervalo de valores considerado ótimo para se desenvolver uma boa atividade microbiológica (Inácio & Miller, 2009). Relativamente às pilhas M6, M8 e M9 partem já de um pH ligeiramente alcalino, cerca de 7,5, onde a pilha M6 mantém os valores sempre muito elevados, entre 9 e 9,5, a M8 entre os 8,5 e os 9,0 e M9 anda por volta dos 8,0 a 8,5. Durante as fases termófilas com os aumentos da temperatura, potenciadas pelo reviramento, observam-se pequenas alterações do pH, mas variando todos no intervalo entre 7,5 e 9,5.



**Figura 18.** Evolução do pH nas pilhas ao longo do período de compostagem

É de referir que as subidas do pH são coincidentes com o revolvimento durante o processo da compostagem e os valores observados mantiveram-se dentro do intervalo de 8 a 9,5. O pH final registado em cada uma das pilhas respeita o esperado e considerado adequado para um composto orgânico, conferindo-lhe características alcalinas (pH das pilhas varia entre 8,3 e 9,3). A Figura 19 apresenta a evolução dos valores de condutividade elétrica, demonstrando que são baixos, variando entre 1 e 3 mS/cm. De acordo com Briton (2019) relativamente à condutividade elétrica dos compostos orgânicos os valores que mais favorecem a atividade microbiológica situam-se entre 2 e 4 mS/cm. Deste modo os valores observados asseguram não haver risco de potencial salinização secundária dos solos com o uso recorrente destes compostos orgânicos.



**Figura 19.** Evolução da CE nas pilhas ao longo do período de compostagem

## 4.2 Caracterização dos compostos finais

Os compostos resultantes das seis misturas testadas (M5, M6, M8, M9, M12 e M15) foram analisados e determinados os teores em matéria orgânica, macro e micronutrientes, bases, metais pesados, pH, razão C/N, humidade, condutividade elétrica e análises microbiológicas.

A Tabela 9 apresenta a composição em macro e micronutrientes e o teor em matéria orgânica (MO) dos vários compostos. Relativamente aos requisitos aplicáveis às matérias fertilizantes inseridas no grupo 5 - corretivos orgânicos - o teor mínimo de matéria orgânica (MO) é de 30%, requisito este satisfeito por todos os compostos.

Na Tabela 10 são apresentados os teores em metais pesados, e os respetivos limites máximos para as classes I e II de acordo com a Portaria 185/2022. Analisando os valores verifica-se que todos os compostos, excetuando o composto M9, para o zinco, apresentam valores que os enquadram na Classe I.

Os teores de metais pesados apresentam níveis muito baixos, o que permite classificá-los como adequados para o uso em Agricultura Biológica.

**Tabela 9.** Teor em matéria orgânica, macro e alguns micronutrientes dos compostos

Compostos	MO	C	N	P	K	Ca	Mg	K/Mg	Ca/Mg	B	Fe	Mn
	%							mg kg <sup>-1</sup>				
M5	73,3	42,49	3,43	0,344	2,405	1,40	0,229	10,5	6,1	52,42	4322	512
M6	38,5	22,35	2,29	0,383	2,353	4,46	0,325	7,2	13,7	33,15	9296	1366
M8	64,8	37,57	2,41	0,407	2,822	1,94	0,428	6,6	4,5	47,75	4287	532
M9	61,6	35,75	2,31	0,333	1,845	2,98	0,314	5,9	9,5	39,80	5323	688
M12	35,4	20,05	1,45	0,316	1,650	4,03	0,351	4,7	11,5	22,35	11043	1701
M15	66,8	38,75	3,45	0,264	2,153	1,63	0,201	10,7	8,1	45,12	4662	652

**Tabela 10.** Teores em metais pesados nos 6 compostos e valores máximos admissíveis por classes

Metal pesado (mg kg <sup>-1</sup> m.s)	M5	M6	M8	M9	M12	M15	Classe I	Classe II	Agric. biológica
Cádmio (Cd)	0,277	0,323	0,226	0,391	0,205	0,255	0,70	1,5	0,7
Crômio (Cr)	10,53	13,48	14,78	14,36	13,67	8,96	100	150	70
Cobre (Cu)	34,98	30,90	43,84	66,05	21,75	27,51	100	200	70
Mercúrio (Hg)	0,015	0,014	0,031	0,020	0,042	0,019	0,70	1,5	0,4
Níquel (Ni)	7,10	10,13	9,66	10,99	13,27	7,46	50	100	25
Chumbo (Pb)	3,62	7,98	5,06	27,33	11,91	4,05	100	150	45
Zinco (Zn)	69,84	111,88	139,83	294,75*	123,89	96,92	200	500	200

Na Tabela 11 apresentam-se os valores da razão C/N, condutividade, pH e humidade para os 6 compostos. Os valores da razão C/N encontram-se dentro do intervalo esperado de 10 a 15 valores, típico de matéria orgânica estabilizada. Relativamente ao pH da matéria fertilizante, este deverá situar-se entre 5,5 e 9,0. Da Tabela 10 verifica-se que dois dos compostos, M6 e M15 ultrapassam o máximo de 9 em 65 décimas e 7 centésimas, respetivamente. No que diz respeito à humidade, o teor máximo permitido em matéria fertilizante é de 40%, parâmetro que é cumprido por todos os compostos.

**Tabela 11.** Razão C/N, pH, condutividade, humidade dos compostos

Composto	M5	M6	M8	M9	M12	M15
CE (mS.cm <sup>-1</sup> )	1,95	3,25	3,18	1,62	3,67	1,91
pH	8,87	9,65	8,96	8,73	8,77	9,07
Humidade (%)	29,07	34,22	21,88	22,24	24,39	26,72
Razão C/N	12,3	12,6	14,2	15,6	11,0	10,9

Foi realizada a pesquisa/quantificação de *Salmonella* spp. e *Escherichia coli*, de acordo com Grupo 5, e os meios utilizados foram o Rappaport Vassiliadis Broth para análise de *Salmonella ssp E Muller kauffamnn tetrionate-novobiocin* para análise de *E. coli*. Na Tabela 12 apresentam-se os resultados das análises microbiológicas aos compostos. Os valores indicam que não foi detetada *Salmonella sp.* em 25 g de amostras nem *E. Coli* < 10 ufc/g (unidade formadora de colônia) em todos os compostos orgânicos, sendo que o limite máximo permitido é até 1000 ufc/g.

**Tabela 12.** Valores das análises microbiológicas aos compostos (*Salmonella sp.* e *E. Coli*)

<i>Composto</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella spp.</i>
	<b>Valor máximo permitido</b>	
	1000 UFC/g de matéria fresca (ISO 16649 -2:2001)	Ausente em 25g de material original (ISO 6579:2002)
<i>M5</i>	< 10 UFC/g de matéria fresca	Ausente
<i>M 6</i>	< 10 UFC/g de matéria fresca	Ausente
<i>M 8</i>	< 10 UFC/g de matéria fresca	Ausente
<i>M 9</i>	< 10 UFC/g de matéria fresca	Ausente
<i>M 12</i>	< 10 UFC/g de matéria fresca	Ausente
<i>M 15</i>	< 10 UFC/g de matéria fresca	Ausente

### 4.3 Ensaio de eficácia em vaso

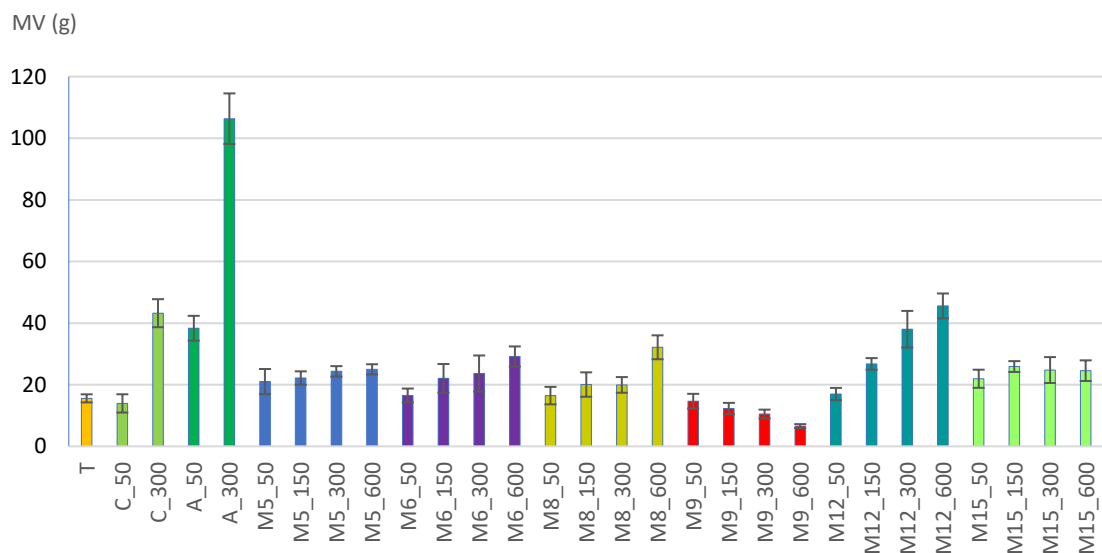
A avaliação do efeito principal associado à aplicação dos compostos refere-se à produção (Anexo III). Para a avaliação dos efeitos secundários, referem-se os efeitos corretivos, com o aumento da fertilidade do solo através do teor em MO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O e CTC e o efeito sobre o valor de pH no fim do ensaio (Anexo VI). Nas secções seguintes são discutidos os respetivos resultados de acordo com a informação obtida da análise estatística.

#### 4.3.1 Produção de matéria verde

A produção de matéria verde por composto e por nível de fertilidade é apresentada na figura 20 para todos os tratamentos. Comparativamente à testemunha T (solo sem matéria fertilizante), e tal como esperado, verifica-se que as produções são superiores para todos os compostos, exceto para o composto M9 que apresenta muito fraco desempenho (Figuras 20 e 21), com efeito contrário ao dos demais compostos sobre a produção de

matéria verde. Quanto maior o nível de fertilidade, menor é a produção de matéria verde nos tratamentos daquele composto.

As modalidades do adubo comercial A50 e A300 dão produções superiores às restantes, os resultados são muito favoráveis, afastando-se visivelmente do desempenho de qualquer outro composto, diferença que é expectável porque os nutrientes dos adubos estão mais imediatamente disponíveis para serem absorvidos pela cultura. O corretivo orgânico comercial para o nível 50 (C50) tem produções ligeiramente inferiores a todas as modalidades, mas para o nível de 300 (C300), as produções são sempre superiores aos compostos em estudo, exceto para o composto M12 que se lhe equipara (Figuras 20 e 22). Nos compostos em estudo observa-se que as maiores produções ocorrem para o composto M12, sendo as produções do M5, M6, M8 e M15 muito próximos entre si. Este aspeto leva a suspeitar que o M12 terá maior quantidade de nutrientes imediatamente disponíveis do que os demais compostos. De facto, é dos compostos que tem menor razão C/N, ao passo que o M9 é o que tem a maior razão C/N, o que também poderá contribuir para explicar a grande diferença de desempenho entre ambos e quando comparados ao adubo e ao corretivo comerciais (Figuras 20 e 21).



**Figura 20.** Produção por mistura (M5, M6, M8, M9, M12 e M15) nos níveis de fertilidade (50,150,300 e 600 N). Testemunhas: tratamentos T (solo), adubo comercial (A) e corretivo comercial (C)

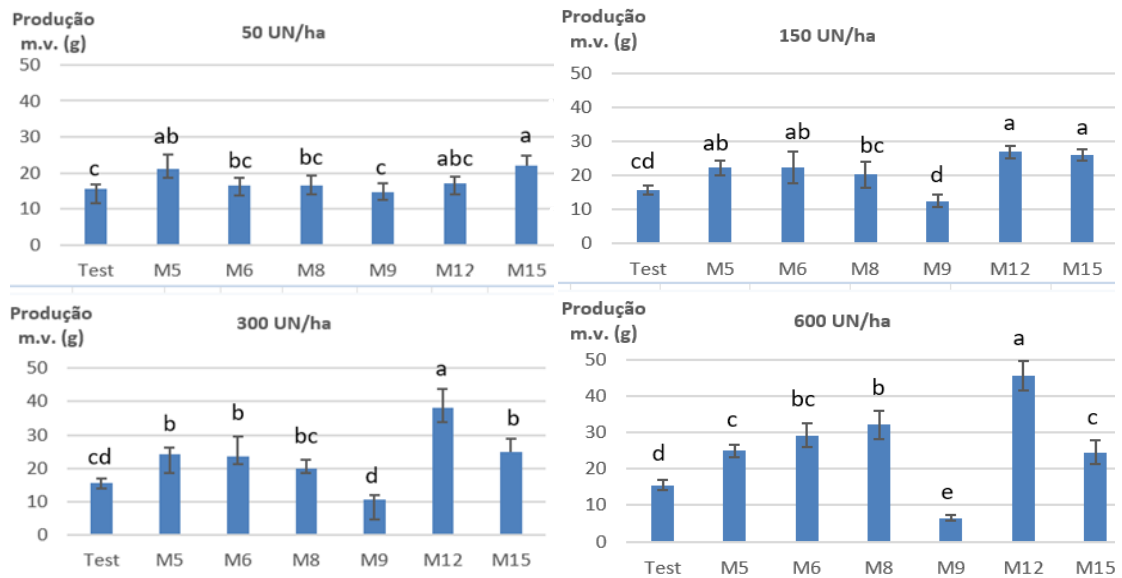


**Figura 21.** Produção de alface com o composto M9 nos vários níveis de fertilidade, da direita para a esquerda a biomassa vai decrescendo à medida que se aumentam as doses de composto (50, 150, 300 e 600 kgNha<sup>-1</sup>) (acima). Pormenor da modalidade M9 600 (abaixo).



**C\_300 C\_50 A\_300 A\_50 T M12\_600 M12\_300 M12\_150 M12\_50**

**Figura 22.** Comparação da biomassa produzida com a testemunha (T) ao meio, o corretivo comercial (C) e adubo comercial (A) do lado esquerdo e M12 à direita para os vários níveis de fertilidade



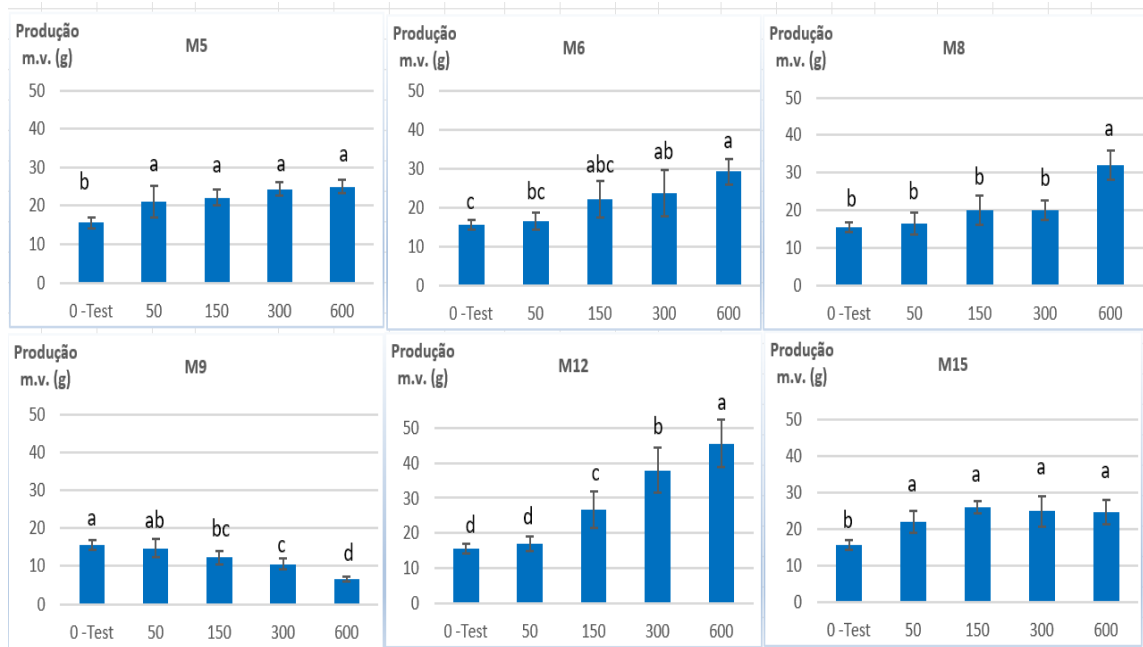
**Figura 23.** Produção de alface por nível de fertilidade (0, 50, 150, 300 e 600 kg N/ha) nas diferentes misturas testadas (M5, M6, M8, M9, M12, M15). Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si de forma significativa ( $\alpha=0,05$ )

Avaliando a produção para os diferentes níveis de fertilidade por composto (Figura 23), verificamos que para o nível de fertilidade 50, o composto M5 e M15 apresentam diferenças significativas em relação à testemunha (T) e em relação ao composto M9. Para o nível 150, os compostos M12 e M15 apresentam diferenças significativas em relação a T, M8 e M9. Para o nível de fertilidade 300 o composto M12, com maior produção, é significativamente diferente de todos os outros. O composto M9, o que menos produziu, só não difere, estatisticamente, da testemunha. Para o nível 600, M12 apresenta valores significativamente superiores aos demais compostos e à testemunha (T). Com valores francamente reduzidos, o M9 apresenta diferenças significativas relativamente a todos os outros compostos e à testemunha (T).

Desta análise conclui-se que é o M12 que apresenta o melhor desempenho para todos os níveis de fertilidade, exceto para 50 kg N/ha, assim como, é o M9 que se destaca por pior desempenho em todos os níveis de fertilidade.

Observando a Figura 24, respeitante à produção de alface por compostos e níveis de fertilidade, verificamos que para M5, apesar de haver uma ligeira diferença de produção crescente para níveis de fertilidade crescentes, as diferenças de produção não são significativas entre os 4 níveis de fertilidade, apenas diferem significativamente relativamente à testemunha (T). No composto M6, apesar de um acréscimo da biomassa para os vários níveis de fertilidade, só para os níveis 300 e 600 existem diferenças

significativas relativamente à testemunha. No composto M8 só o nível 600 apresenta diferença significativa em relação à testemunha e os vários níveis, não havendo diferenças significativas entre estes.



**Figura 24.** Produção de alface por mistura (M5, M6, M8, M9, M12, M15) com os diferentes níveis de fertilidade (0, 50, 150, 300 e 600 kg N/ha). Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si de forma significativa ( $\alpha=0,05$ )

O composto M9, com um comportamento diferente dos demais porque a produção vai decrescendo à medida que o nível de fertilidade vai aumentando, apresentando valores significativamente mais baixos do que a testemunha (T) para todos os níveis de fertilidade, exceto para o nível 50. No composto M12, à exceção do nível 50 que não difere significativamente da testemunha, todos os outros níveis de fertilidade apresentam entre eles um acréscimo significativo de produção. Com o composto M15, à semelhança do M5, os vários níveis de fertilidade só apresentam diferenças significativas na produção, em relação à testemunha (T).

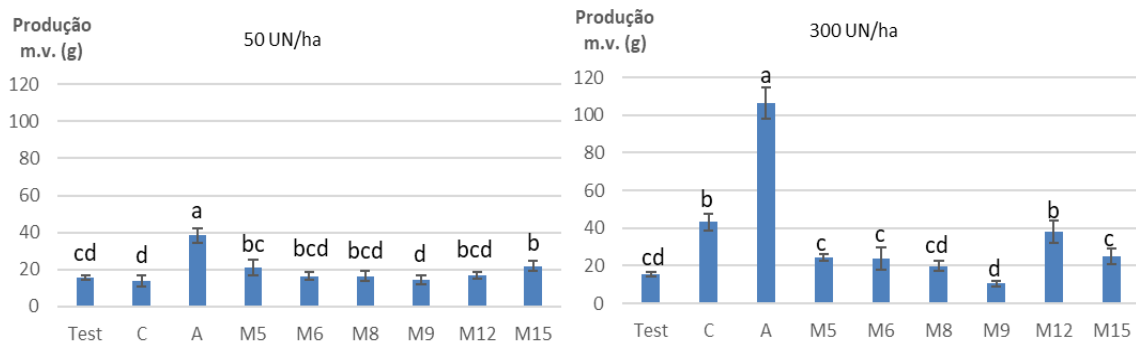
Observou-se assim, que a aplicação de quantidades crescentes de compostos orgânicos M6 e M12 conduziu a aumentos significativos da produção de biomassa, enquanto os compostos M5 e M15 não demonstraram vantagens evidentes na produção por aumentar a quantidade de composto. O composto M8 só apresenta um acréscimo significativo da produção para o nível 600, enquanto o M9 apresenta sempre decréscimos significativos

com o aumento dos níveis de fertilidade, demonstrando o pior desempenho de entre os 6 compostos desenvolvidos. Tal permite deduzir que os compostos com maior quantidade de nutrientes imediatamente disponíveis serão o M6 e M12, tornando mais evidente as diferenças de produção com o aumento dos níveis de fertilidade. M5, M8 e M15 terão menores quantidades de nutrientes já mineralizados e disponíveis para absorção das plantas, resultando em aumentos de produção menos evidentes ou mais suaves.

O comportamento tão peculiar e demarcado do composto M9 em ensaios de vaso poderá dever-se à presença do *biochar*, que apesar de ter uma representatividade muito pequena (cerca de 2,5 %), num curto intervalo de tempo (50 dias) terá apenas um efeito inicial de elevada adsorção dos poucos elementos nutrientes mineralizados disponíveis para serem captados pela planta, uma vez que o solo é de muito baixa fertilidade e grande parte dos nutrientes estão na forma orgânica, podendo não ter havido condições favoráveis para alguma mineralização. O efeito positivo de aumento na eficiência de utilização dos nutrientes devidos ao esperado aumento da CTC do solo e maior retenção para a água provocados pelo *biochar*, só se fará sentir a longo prazo, depois de atingida uma dinâmica natural do ecossistema solo-planta. A curto prazo não é expectável e a bibliografia tem demonstrado que o *biochar*, sendo naturalmente pobre em nutrientes, não resulta em qualquer efeito imediato no aumento da produção. No entanto, o fato de estar presente numa percentagem pequena e observar-se um comportamento decrescente de produção com os níveis crescentes de concentração de nutrientes, leva a crer que poderá também haver o contributo simultâneo de algum efeito antagónico entre os nutrientes, dificultando a planta na absorção dos nutrientes essenciais ao aumento de produção. Tal efeito antagónico poderá estar a ser provocado pelo teor destacadamente mais elevado de Zn na M9, cerca de 2,4 vezes o teor da mistura que apresenta a segunda concentração mais elevada de Zn, o que, aliás, é o único parâmetro de qualidade que impede classificar este composto como Classe I para ser apto à utilização em Agricultura Biológica. Além disso, é sabido que a toxicidade do zinco pode resultar na inibição do crescimento e danos nas raízes, afetando a capacidade da planta de absorver água e nutrientes essenciais (Lopes, 2008).

Comparando o desempenho dos compostos com o adubo (A) e corretivo (C) comerciais (Figura 25) para os níveis 50 e 300, verificamos que o adubo comercial tem um melhor desempenho que todas as outras modalidades para ambos os níveis, já o corretivo orgânico comercial (C) não apresenta um desempenho muito diferente dos compostos em

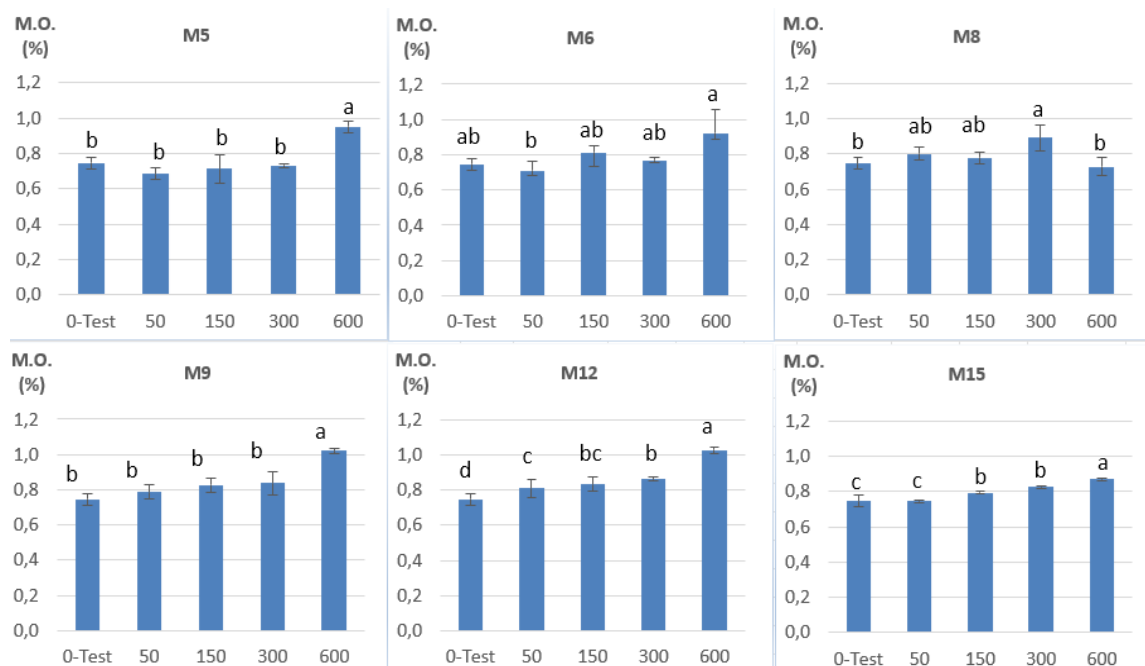
estudo para o nível 50. Quanto ao nível de fertilidade 300, apresenta um melhor desempenho relativamente aos compostos em estudo, exceto para o M12, com o qual os resultados não diferem estatisticamente.



**Figura 25.** Produção de alfaca com adubo (A) e corretivo (C) comerciais e com os 6 compostos em estudo para os níveis de fertilidade (0, 50 e 300 kg N/ha). Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si de forma significativa ( $\alpha=0,05$ )

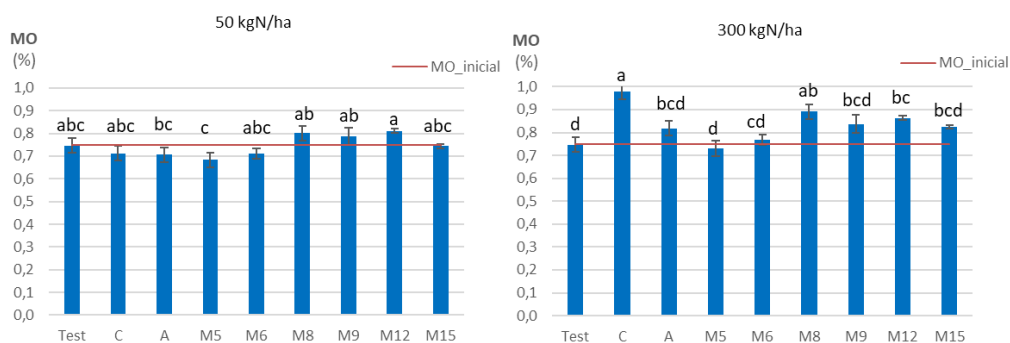
#### 4.3.2 Teor de matéria orgânica no solo

Os aumentos dos teores em MO do solo original, o qual apresenta uma média de 0,75% de MO, não vão para além dos 1,03% MO para os níveis mais elevados de fertilidade (600 kg N/ha). Embora a diferença de valores possa parecer reduzida, estamos a falar de um aumento de 37% no teor da MO do solo. Na Figura 26 apresentam-se os resultados relativos aos teores de MO do solo no final do ensaio. Para os compostos M5 e M9 só a partir do nível de fertilidade de 600 é que há um acréscimo significativo da MO no solo. Para o composto M6 só há diferenças significativas no aumento do teor em MO entre os níveis 50 e 600. Para o composto M8 existe um acréscimo significativo de MO entre o nível 300 e a testemunha e o nível 600. No composto M12 todos os níveis apresentam aumentos significativos do teor em MO, relativamente à testemunha, e entre si, com exceção para o nível 150 que não difere significativamente dos níveis 50 e 300. O composto M15 não apresenta diferenças significativas entre a testemunha e o nível 50, nem entre os níveis 150 e 300. No entanto, estes dois grupos diferem entre si de modo significativo, assim como o nível 600 que apresenta um acréscimo significativo em relação a todos os outros níveis.



**Figura 26.** Teor de MO final no solo nas várias misturas e níveis de fertilidade. Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si de forma significativa ( $\alpha=0,05$ )

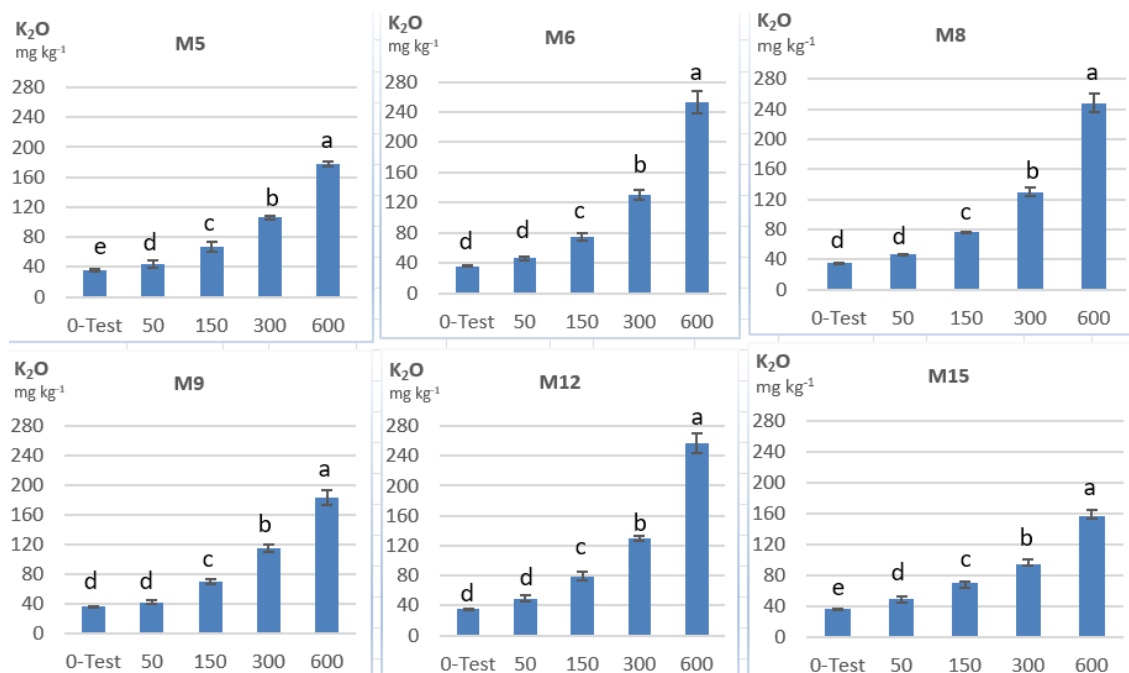
Salienta-se o comportamento do composto M12 pelo aumento do teor de matéria orgânica estatisticamente significativo para quase todos os níveis de fertilidade, sofrendo acréscimos significativos com a adição de quantidades crescentes do composto. Poderiam ser diferenças significativas, mas corresponder a um pequeno acréscimo da MO do solo em termos absolutos e comparativamente aos outros compostos, mas não foi o caso. Para o nível de 600, o aumento médio no teor de MO do solo, foi também cerca de 1%, semelhante ao M9. Todos os demais compostos resultaram num menor aumento da MO do solo para o nível de 600. Tal permite referir que o composto M12, além de demonstrar o melhor desempenho na produção, também o demonstra no aumento efetivo da MO do solo. Comparando o desempenho dos compostos em estudo com o adubo (A) e corretivo orgânico (C) comerciais (Figura 27) para os níveis 50 e 300, verificamos que o adubo comercial não tem um melhor desempenho que todas as outras modalidades para ambos os níveis, já o corretivo orgânico comercial (C), não apresentando um desempenho muito diferente dos compostos para o nível 50, apresenta o melhor desempenho para o nível 300, mas estatisticamente semelhante aos resultados do M8.



**Figura 27.** Teor de MO final no solo, entre o adubo (A) e corretivo (C) comerciais, com os 6 compostos em estudo para os níveis de fertilidade (0, 50 e 300 kg N/ha). Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si de forma significativa ( $\alpha=0,05$ )

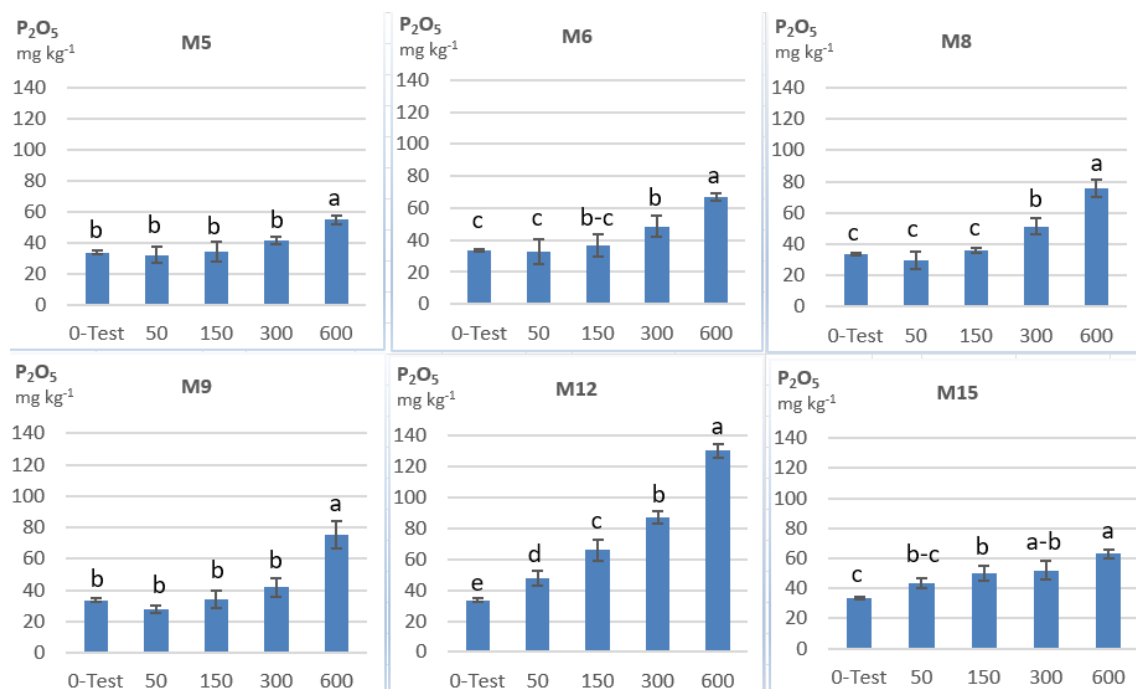
### 4.3.3 Teor de potássio e fósforo no solo

Em relação aos teores de potássio do solo o comportamento foi muito semelhante entre os diferentes compostos apresentados. De um modo geral, há acréscimos significativos para os vários níveis de fertilidade, com máximos acima dos 240 mg kg<sup>-1</sup> para M6, M8 e M12 (Figura 28). Houve, portanto, um aumento dos teores de potássio do solo no final da produção de alface para todos os compostos e todos os níveis de aplicação. Para teores acima de 200 ppm o nível de fertilidade do solo neste elemento é considerado “muito elevado”.



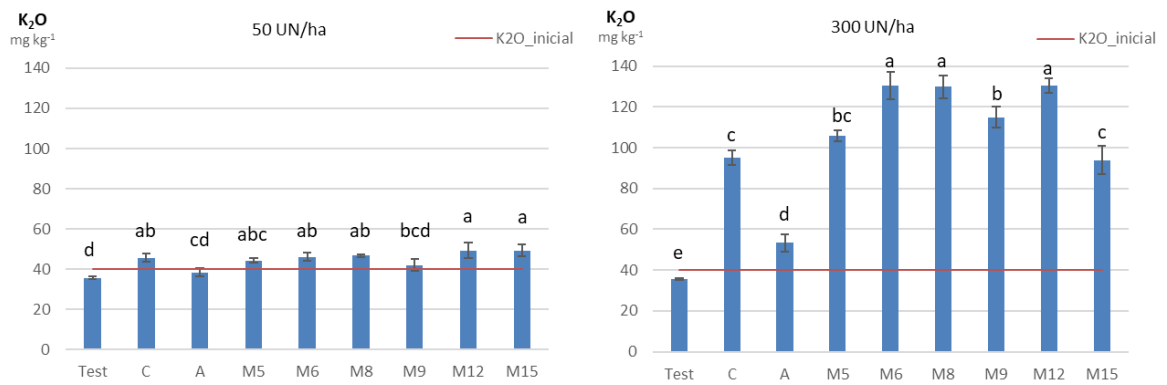
**Figura 28.** Teor de K<sub>2</sub>O final no solo nas várias misturas e níveis de fertilidade. Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si de forma significativa ( $\alpha=0,05$ )

Relativamente aos teores finais de fósforo no solo (Figura 29), os compostos M5 e M9 não apresentam diferenças significativas entre os vários níveis, exceto para os níveis 600. Os compostos M6, M8 e M15 apresentam um aumento significativo para os níveis 300 e 600. O composto M12, uma vez mais, destaca-se apresentando acréscimos significativos para todos os níveis, com um máximo acima dos 120 mg kg<sup>-1</sup> para o nível 600 (Figura 29). A partir de 100 ppm deste elemento, o solo passa a ser classificado com fertilidade “alta” para o fósforo P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Também para o aumento da fertilidade do solo em fósforo, o composto M12 demonstrou-se mais eficaz nos ensaios de curta duração em vaso.



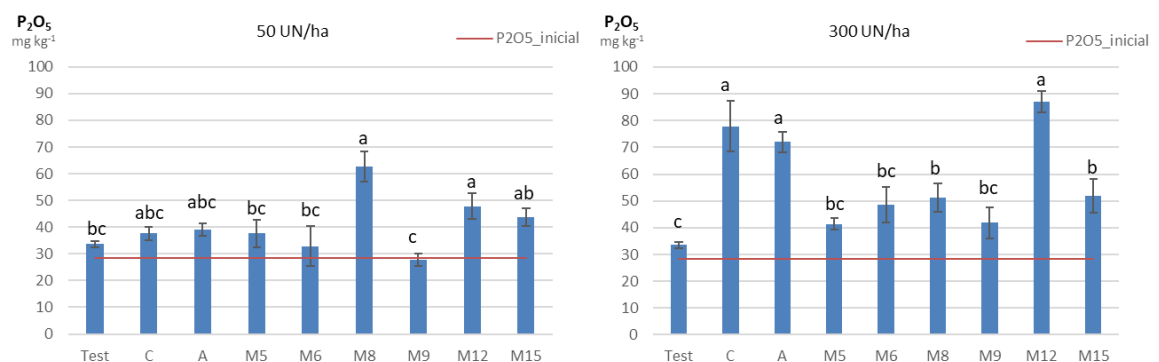
**Figura 29.** Teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> final no solo nas várias misturas e níveis de fertilidade. Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si de forma significativa ( $\alpha=0,05$ )

Comparando o desempenho dos compostos em estudo, com o do adubo (A) e do corretivo orgânico (C) comerciais para os níveis 50 e 300 (Figura 30), relativamente aos teores de potássio, verificamos que o adubo comercial tem um pior desempenho relativamente a todas as outras modalidades para ambos os níveis. O corretivo orgânico comercial (C) não apresenta um desempenho muito diferente dos demais compostos para o nível 50. No entanto, para o nível 300 tem um desempenho significativamente inferior em relação às misturas, exceto às M5 e M15, relativamente às quais as diferenças não são significativas.



**Figura 30.** Teores de K<sub>2</sub>O finais no solo, entre o adubo (A) e corretivo (C) comerciais, com os 6 compostos em estudo para os níveis de fertilidade (0, 50 e 300 kg N/ha). Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si de forma significativa ( $\alpha=0,05$ )

De acordo com a Figura 31, relativamente ao fósforo no solo, tanto o adubo (A) como o corretivo orgânico (C) comerciais, não apresentam diferenças significativas em relação às misturas em estudo, para o nível 50, mas para o nível 300 os teores de potássio são significativamente superiores aos das misturas compostadas, exceto para a M12 que tem um desempenho ligeiramente superior.

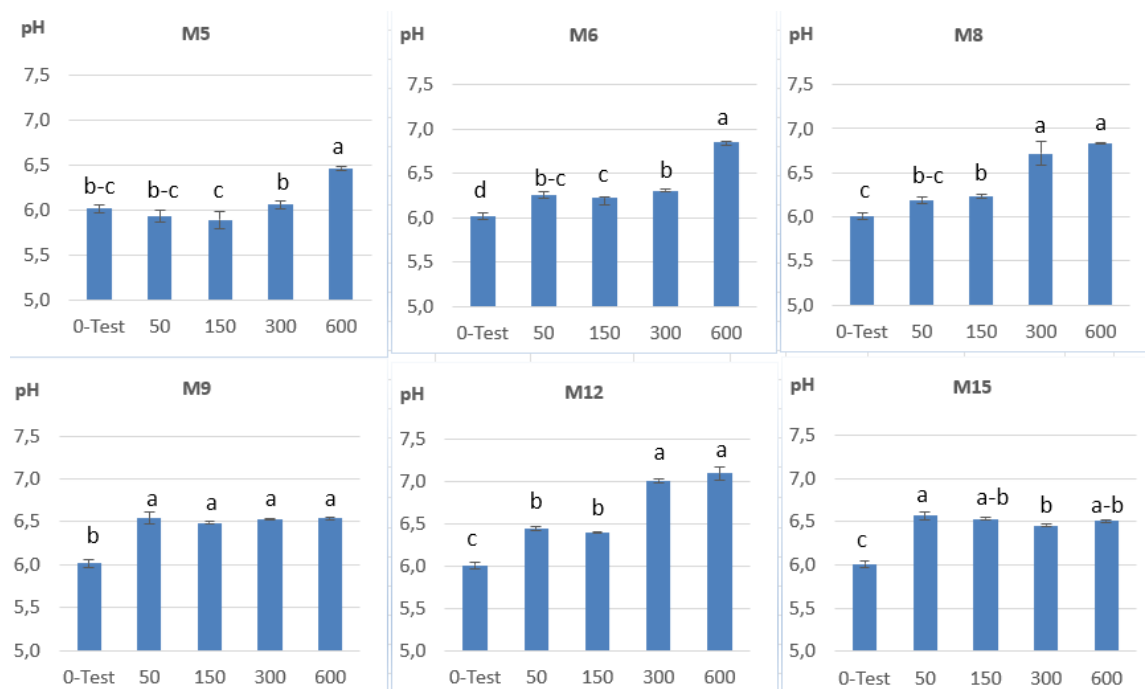


**Figura 31.** Teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> final no solo, entre o adubo (A) e corretivo (C) comerciais, com os 6 compostos em estudo para os níveis de fertilidade (0, 50 e 300 kg N/ha). Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si de forma significativa ( $\alpha=0,05$ )

#### 4.3.4 Valores de pH e CTC no solo

Relativamente ao pH final dos solos (Figura 32), o tratamento M5 apresenta valores próximos da testemunha, cerca de 6,0 para os 3 primeiros níveis de fertilidade (50, 150 e 300). Houve, portanto, uma ligeira acidificação do solo, apresentando um pH

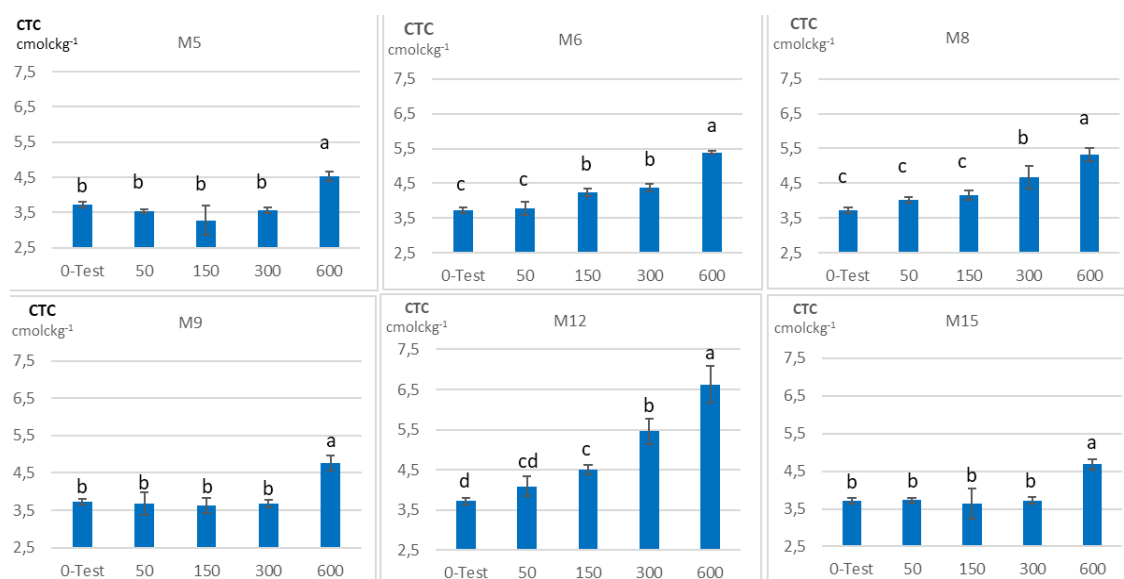
aproximadamente igual ao inicial (6,47) para o nível 600. No tratamento M6 observa-se uma ligeira redução do pH em relação ao do solo inicial, para os níveis 50, 150 e 300, aumentando para um valor próximo de 7.0, no nível 600. O tratamento M8 apresenta um ligeiro acréscimo do valor de pH em relação à testemunha, para os níveis de fertilidade 50 e 150, mas mantém uma ligeira redução do pH inicial. Para os níveis 300 e 600 há um acréscimo significativo do valor de pH aproximando-se de 7.0. Para os tratamentos M9 e M15, os comportamentos são muito semelhantes, não há alteração e mantém o pH inicial do solo para todos os níveis de fertilidade. O composto M12 para os níveis 50 e 150 mantém o pH inicial do solo, subindo mais de 0,5 unidade para os níveis de fertilidade 300 e 600, ultrapassando a barreira dos 7.0, com efetiva correção do pH ácido do solo original. Portanto, o M12 tem efeito corretivo do pH do solo para os níveis de fertilidade mais elevados, a partir dos 300 kg N/ha.



**Figura 32.** Valores de pH do solo por mistura e níveis de fertilidade no final do ensaio. Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si de forma significativa ( $\alpha=0,05$ )

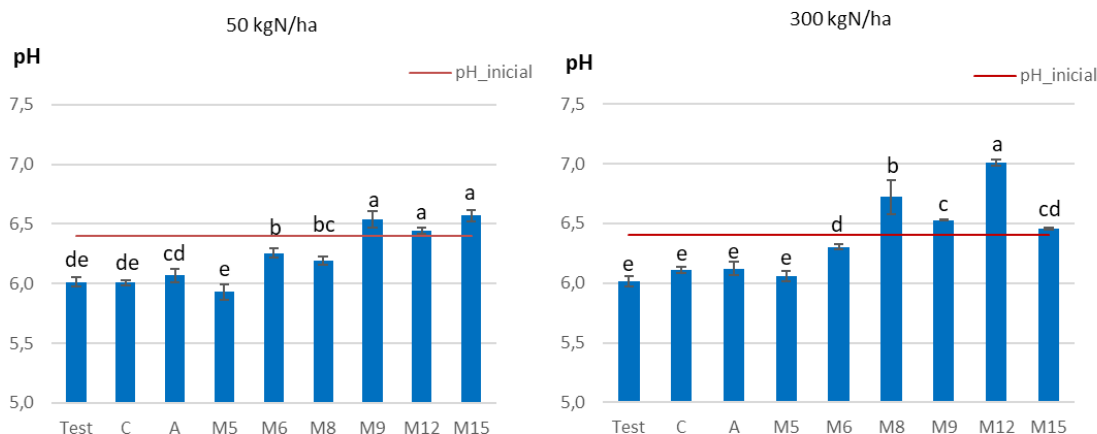
Relativamente à capacidade de troca catiónica dos solos (CTC) para os compostos M5, M9 e M15 o valor mantém-se baixo (Figura 33), tanto para a testemunha como para os níveis de fertilidade 50, 150 e 300, sem diferenças significativas entre si e muito próximo do valor inicial aproximadamente  $3,7 \text{ cmolkg}^{-1}$ . Só para o nível 600 há um acréscimo

significativo, com valores entre 4,5-4,7  $\text{cmolkg}^{-1}$ . Relativamente aos compostos M6 e M8, para os níveis inferiores não diferem significativamente da testemunha. Para os valores intermédios de 150 e 300 há um aumento significativo relativamente aos anteriores, assim como para o nível máximo de 600 a CTC aumenta significativamente para próximo de 5,5  $\text{cmolkg}^{-1}$ . O composto M12 apresenta um bom comportamento, os valores de CTC vão aumentando significativamente à medida que se aumentam as doses de composto atingindo um valor máximo acima de 6,5  $\text{cmolkg}^{-1}$  (Figura 33). Mais uma vez se destaca o composto M12, demonstrando a maior eficácia no aumento da CTC do solo.



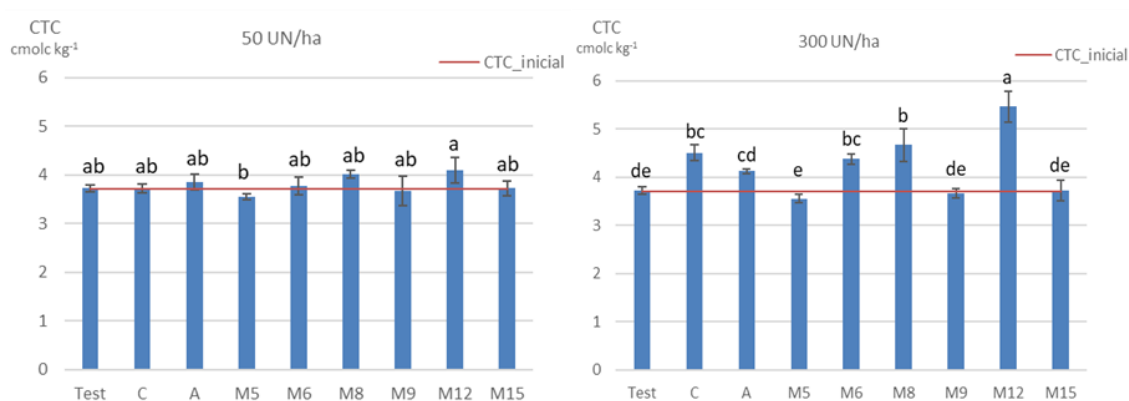
**Figura 33.** Capacidade de troca catiónica (CTC) final no solo nas várias misturas e níveis de fertilidade, seguidos da mesma letra não diferem entre si de forma significativa ( $\alpha=0,05$ )

Comparando o desempenho do adubo (A) e do corretivo orgânico (C) comerciais para os níveis 50 e 300, com o dos compostos em estudo (Figura 34), relativamente aos valores de pH, verificamos que para ambos, e para os dois níveis, há acidificação do solo, comportamento semelhante também para M5, apresentando as restantes misturas uma significativa capacidade corretiva do pH.



**Figura 34.** Valor de pH final no solo, entre o adubo (A) e corretivo (C) comerciais, com os 6 compostos em estudo para os níveis de fertilidade (0, 50 e 300 kg N/ha). Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si de forma significativa ( $\alpha=0,05$ )

Comparando o desempenho do adubo (A) e do corretivo orgânico (C) comerciais para os níveis 50 e 300, com o dos compostos em estudo relativamente aos valores de CTC (Figura 35), verificamos que para o nível 50 não existem diferenças entre eles. Já para o nível 300 o adubo apresenta valores ligeiramente superiores às misturas M5, M9 e M15, mas ligeiramente inferior a M6 e ao corretivo orgânico comercial (C) e significativamente inferiores para M8 e M12. O corretivo orgânico comercial apresenta um valor significativamente inferior só em relação a M12, que mais uma vez apresenta o melhor desempenho de todos os compostos.



**Figura 35.** Valor de CTC final no solo, entre o adubo (A) e corretivo (C) comerciais, com os 6 compostos em estudo para os níveis de fertilidade (0, 50 e 300 kg N/ha). Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si de forma significativa ( $\alpha=0,05$ )

## 5 CONCLUSÕES

Dos seis compostos em estudo que têm como principal constituinte a invasora jacinto-de-água, o M9 destacou-se pelo seu fraco desempenho. Na sua composição este composto difere dos demais por ter diferentes proporções das matérias-primas comuns, por ter na sua constituição a presença de 2,5% de *biochar* (ou biocarvão). Este elemento poderá ser uma das razões que justifique o comportamento deste composto pelas suas interações com o solo e a planta. Essas interações de solo-planta e *biochar* são complexas e dependem de vários fatores, incluindo o tipo de *biochar* (material original que deu origem ao *biochar*, granulometria, etc.), a dose aplicada e as características específicas do solo e da cultura. Apesar dos benefícios potenciais a longo prazo, ainda há desafios e questões em aberto, como a variabilidade nas respostas das culturas ao *biochar* e a otimização das condições de aplicação. O *biochar* está associado à melhoria das propriedades físicas e químicas do solo, proporcionando benefícios a longo prazo, em vez de fornecer nutrientes imediatos, fato que se poderá ter verificado ao haver adsorção e retenção imediata de nutrientes, impedindo o bom desenvolvimento da alfaca.

Este tema poderá ser um objeto de interesse e investigação futura tentando dar resposta a questões como: *Quais as vantagens ou desvantagens em adicionar o biochar ao processo de compostagem? Será ou não mais interessante adicioná-lo durante o processo ou após a conclusão da produção do composto?*

O composto M12, em sentido oposto, sendo simples na sua constituição de base, deu origem a um corretivo orgânico de qualidade através da compostagem de biomassa florestal e o jacinto-de-água. Tendo apenas dois constituintes, a massa total de jacinto-de-água a contribuir para este composto foi maior do que nas outras formulações, sendo este constituinte uma das maiores fontes de nutrientes imediatamente disponíveis porque apresenta razão C/N reduzida.

A utilização deste composto orgânico contribuiu para um aumento significativo da produção entre os vários níveis de fertilidade e não demonstrou qualquer efeito de toxicidade mesmo para o nível mais elevado (600 N kg/ha). O seu desempenho e as suas características quanto ao teor de MO, teor em N total e razão C/N, permitem classificá-lo como corretivo orgânico de qualidade, comprovadamente com sinais evidentes de melhoria da fertilidade dos solos, especialmente no aumento dos teores de matéria

orgânica, potássio e fósforo disponíveis, aumento da CTC do solo e até mesmo nalguma capacidade de correção do pH ácido do solo.

Os demais compostos demonstraram um desempenho superior ao M12 no processo de compostagem, tendo ocorrido vários ciclos termófilos com temperaturas entre 60 e 70 ° C e até superiores em alguns casos pontuais, o que assegura a higienização dos materiais e inviabilização de propágulos de espécies não desejadas em ambiente agrícola. No entanto, apesar de apresentarem teores de MO e N superiores aos do M12, a curto prazo e em volume limitado do vaso, não demonstraram resultados tão evidentes no aumento de produção de biomassa e/ou na correção orgânica ou de pH do solo.

Estes aspetos levam a crer que não será uma composição mais variada em matérias-primas que produzirá, forçosamente, o melhor composto. Os ensaios em vaso tornaram claro que para um rápido efeito na produção a curto prazo, é importante que o composto possua uma boa proporção de nutrientes mais imediatamente disponíveis (mineralizados e na solução do solo). É compreensível que esses nutrientes estivessem disponíveis em maior proporção no composto M12 porque sendo constituído apenas por biomassa florestal e jacinto-de-água (com o jacinto-de-água numa percentagem superior à biomassa florestal) e sendo o jacinto-de-água o constituinte mais rico na generalidade dos nutrientes; por cada unidade de composto, terão sido incorporados ao solo pobre dos vasos, uma maior quantidade de nutrientes imediatamente disponíveis através do M12, comparativamente aos demais compostos congéneres de composição mais variada e complexa, mas mais pobres em nutrientes imediatamente disponíveis (mineralizados) para a captação pelas plantas.

É esperado que o comportamento destas formulações de compostos em culturas produzidas em solo ao ar livre ou protegidas, sem restrição de volume radicular, venham a demonstrar desempenhos francamente superiores, sobre a produção e sobre a melhoria da fertilidade global do solo, do que os demonstrados nas circunstâncias do ensaio em vasos. Estão previstos para brevemente estes ensaios em campo aberto para a devida validação da eficácia agronómica dos compostos.

Por fim, apesar de ainda estarem em curso algumas das análises do material vegetal e dos solos após ensaios, para validar algumas das questões levantadas, considera-se que ficou comprovado o elevado potencial do jacinto-de-água para a produção com sucesso de compostos orgânicos de elevado teor em matéria orgânica, nutrientes e capacidade corretiva do pH ácido do solo e aumento da CTC. Além disso, os compostos

demonstraram elevada qualidade quanto aos teores em metais pesados, o que permite classificá-los na Classe I, passando a estar aptos à utilização em Agricultura Biológica, podendo vir a reforçar muito positivamente a quantidade de matérias fertilizantes disponíveis no mercado para este modo de produção agrícola, contribuindo plenamente para o reforço da Economia Circular e neutralidade carbónica, duas das prioridades da UE na transição verde necessária ao aumento da sustentabilidade global.

## Bibliografia

- Aguiar, F. (6 de dezembro de 2021). Jacinto-aquático: praga verde ou sal da Amazônia? Obtido de Wilder: <https://www.wilder.pt/naturalistas/jacinto-aquatico-praga-verde-ou-sal-da-amazonia/>
- Ahmed, M. E., Ahmed, M. A., Emad, A., Faten, A. E., Amr , A. A., Ali, M., & Hany , A. S. (jun de 2011). *Eichhornia crassipes* (Mart) solms - From water parasite to potential medicinal remedy. 6:6, pp. 834-836. doi: 10.4161/psb.6.6.15166
- Alexander, M. (1977). *Introduction to soil microbiology*. NY: John Wiley & Sons.
- Almeida, D. (2006). *Manual de Culturas Hortícolas*. Editorial Presença.
- Alromian, F. M. (2020 ). Effect of type of compost and application rate on growth and quality of lettuce plant. *Journal of Plant Nuricion*, Vol 43 No 18, 2797-2809.
- Ana Segatelli, A. P. (10 de janeiro de 2020). *Quality of Organic Compost for Vegetable Planting*.
- Artigo 4º. Decreto Legislativo Regional nº 1/2017/M. (s.d.).
- Arturo Aguirre Gómez, L. V. (s.d.). *The Use of Biochar of High Growth Rate Plants to Agriculturally Remediate Heavy Metal Polluted Acidic Mine Wastes*. IntechOpen.
- Bai, Y., Zhou, W., Yan, S., & al., e. (2010). Effects of feeding water hyacinth silage on lambs fattening. *Jiangsu J Agric Sci*.
- Brinton , W. F. (2000). *Compost qualít standards and guidelines, final report prepared for NYSAR. Woods End Research Laborator, Inc.,.*
- Catita, D., Sarmiento, P., lhéu, A., Sempiterno, C., & Fernandes, R. (2023). *Compostagem - Uma Solução Sustentável*. EDIA.
- Correia, C. (2023). *Avaliação físico-química de compostos de bagaço e engaço de uva branca e eficácia da sua utilização na cultura da alface*. Viana do Castelo: IPVC.
- Declaração de Retificação n.º 22-A/2022, de 16 de setembro. (s.d.). *Diário da República n.º 180/2022, 1º Suplemento, Série I de 2022-09-16,.* Presidência do Conselho de Ministros - Secretaria-Geral.
- Decreto-Lei n.º 119/2019. (21 de agosto de 2019). *Diário da Republica nº 159/2019, série I*.
- Decreto-Lei n.º 30/2022 de 11 de abril. (s.d.). *Diário da República, 1.ª série Nº 71. Presidência do Concelho de Ministros*.
- Diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho (UE) 2018/851 . (30 de maio de 2018). *Jornal Oficial da União Europeia*.
- EDIA. (2020). *Guia de boas práticas agroambientais*. (EDIA, Ed.) Obtido de [https://www.edia.pt/wp-content/uploads/2020/12/GuiaBP\\_online.pdf](https://www.edia.pt/wp-content/uploads/2020/12/GuiaBP_online.pdf)

- Elserafy, Z., Sonbol, H., & Eltantawy, I. (2012). The problem of water hyacinth in rivers and canals., oil Science and Plant Nutrition.
- Feng, H., Yan-feng, X., Shi, Z. (2011). Effects of water hyacinth fermentation biogas fluid on ascorbate-glutathione cycle in Chinese cabbage (*Brassica chinensis* L.). Jiangsu J Agric Sci.
- Fu , M. (2011). Effects on improving water quality in the culturing *Trionyx sinensis* ponds by planting *Eichhornia crassipes* Solms and raising a small amount of *Aristichthys nobilis*. J Fujian Fish.
- Garcia, E. I. (1989). Evaluation of City Refuse Compost Maturity: A Review. Biological Wastes, 115-142.
- Gilbert, J., & Siebert, S. (2019). European Bio-Waste Management - Overview of Bio-Waste Collection, Treatment & Markets Across Europe. German: European Compost Network ECN E.V.
- Gomes, A. P. (2001). Fundamentos da Compostagem de Resíduos Sólidos. Aveiro: Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento.
- Gopal, B. (1987). Water Hyacinth. Amsterdam (Oxford-NewYork-Tokyo): Elsevier Science Publishers.
- Griffin, D. M. (1985). Bacteria in nature (Vol. vol I). London: Plenum.
- Gupta, P., & Tamot, S. (2022). Biodiversity of Ecosystems. Exploiting the Attributes of Biocontrol Agent (*Neochetina bruchi*) as a Potential Ecosystem Engineer's.
- Harada, Y., Inoko, A., Tadaki , M., & Izawa, T. (1981). Maturing process of city refuse compost during piling. Soil Science and Plant Nutrition.
- Hernández, Teresa; Chocano, Carmen; Moreno, José-L. (2015). Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa* L.) crops-effects on soil and plant. Elsevier.
- Inácio, C. T., & Miller, P. R. (2009). Compostagem : Ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Jiménez, E. I., & Garcia, V. P. (1987). Evaluation of City Refuse Compost Maturity: A review. Tenerife: Instituto de Recursos Y Agrobiologia de Canarias (CSIC).
- Karsten, D. H., Patterson, P. H., Stout, R., & Crews, & G. (2010). Vitamins A, E and fatty acid composition of the eggs of caged hens and pastured hens.
- Kuo, S., Hummel , R. L., Hue, N. V., & Ortiz-Escobar, M. E. (janeiro de 2004). Composting and Compost Utilization for Agronomic and Container Crops. Composting and Compost Utilization.
- Larney, F. J., & Hao, X. (2007). A review of composting as a management alternative for beef cattle feedlot manure in southern Alberta, Canada. Bioresource Technology, Volume 98, Issue 17,.

- Lopes, J. I. (2008). Valorização agrícola e avaliação da qualidade de matérias orgânicas fertilizantes. Porto: Departamento de Botânica Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- MADRP. (s.d.). Manual Básico das Boas Práticas Agrícolas: Conservação do solo e da água. Lisboa: INGA.
- Manojlovic, M., Cabilovski, R., & Bavek, M. (2010). Organic materials: sources of nitrogen in the organic production of lettuce. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*: Vol. 34: No. 2, Article 8.
- OECD. (2010). Sustainable Management of Water Resources in Agriculture. [www.oecd.org/publishing/corrigenda](http://www.oecd.org/publishing/corrigenda).
- Oliveira, M. E. (2013). Avaliação da capacidade de compostos de acácia para substituição da casca de pinheiro na formulação de substratos. Castelo Branco: Instituto Politecnico de Viana do Castelo.
- P. Román, M. M. (2015). *Farmer`s compost handbook*. FAO.
- Paradelo, R., Moldes, A. B., & Barral, M. T. (2013). Evolution of organic matter during the mesophilic composting of lignocellulosic winery wastes. *Journal of Environmental Management*. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.12.001>
- Portaria n.º 185/2022 de 21 de julho. (s.d.). Diário da República, 1.ª série nº 140. Economia e Mar Ambiente e Ação Climática e Agricultura e Alimentação.
- Roteiro para a Neutralidade Carbónica de Portugal 2050. (6 de junho de 2019). Estratégia de Longo Prazo para a Neutralidade Carbónica da Economia Portuguesa em 2050.
- Rui Pinto, M. B. (2022). Compostagem de resíduos provenientes da cultura de kiwi. SCAP.
- Russo, M. A. (2003). *Tratamento de Resíduos Sólidos*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Santos, J. Q. (1991). *Fertilização: fundamentos da utilização dos adubos e correctivos*. Europa-America, Lda.
- Souza, C. B., & Silva, G. R. (2019). *Biotechnology and Bioengineering. Phytoremediation of Effluents Contaminated with Heavy Metals by Floating Aquatic Macrophytes Species*.
- Strom, P. F. (1985). Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid-waste composting. *Appl Environ Microbiol.*, 50(4): 899–905.
- Trautmann, N. & Krasny, M. (1997). *Composting in the Classroom: Scientific Inquiry for High School Students*. E-book (<http://www.css.cornell.edu/compost/schools.html>), Cornell University.

- Wang, H., Shen, M., Chang, Z. (2011). Nitrogen loss and technique for nitrogen conservation in high temperature composting of hyacinth. *J Agro-Environment Sci.*
- Wilson, J., Holst, N., & Rees, M. (2005). Determinants and patterns of population growth in water hyacinth. *Aquatic Botany*, Volume 81, Issue 1.
- Yan, S.-H., Song, W., & Guo, J.-Y. (2017). Advances in management and utilization of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in aquatic ecosystems. *Tandfonline*, 218-228.

## **Anexos**

## Anexo I. Análise da água de rega

**Serviço/Nome:** ESAC – Projeto Biocomp 2.0/Investigador Responsável: Eng.ª Daniela Santos

**Endereço:** Bencanta. 3045-601 Coimbra

**Amostra:** água de rega (ensaio de eficácia, alfices)

**Data de Colheita:** 18-04-2023

**Data de entrada:** 18-04-2023

**Data de Saída:** 22-05-2023

Parâmetros / Metodologia		Nº Laboratório	A 1841	Apreciação <sup>a</sup>
		Referência	Amostra 1	
<b>Caracterização organolética</b>				
Aspeto			Limpida	
Cor			Incolor	
Cheiro			Sem cheiro	
Depósito			Sem depósito	
<b>Caracterização físico-química</b>				
pH (E. Sorensen)	(22,5°C)	Potenciometria	5,9	Limites normais: 6,5 - 8,4
Condutividade elétrica	(mS cm <sup>-1</sup> ; 25°C)	Eletrometria	0,27	Grau 1: Sem restrições (<0,7)
Clorretos	(mg L <sup>-1</sup> )	Método volumétrico de Mohr	43	Grau 1: Sem restrições (<106 <sup>b</sup> , <142 <sup>c</sup> )
Nitratos	(mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	Redução do nitrato a nitrito através de cádmio metálico e doseamento por espectrofotometria (HACH DR1900)	0,44	VMR: 50 mg L <sup>-1d</sup>
Cálcio	(mg Ca L <sup>-1</sup> )	Doseamento por espectrofotometria de absorção atómica, com chama	11,90	-
Magnésio	(mg Mg L <sup>-1</sup> )		4,88	-
Sódio	(mg Na L <sup>-1</sup> )		25,96	Grau 1: Sem restrições (<69 <sup>b</sup> )
Potássio	(mg K L <sup>-1</sup> )		4,83	-
Razão Adsorção de Sódio (RAS)	-	Valor calculado	1,50	Grau 2: Restrições ligeiras a moderadas

Os resultados apresentados correspondem à amostra recebida no Laboratório de Solos e Fertilidade da ESAC.

<sup>a</sup> INIAV – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P. 2022. Veloso et al. 3ª Edição ([https://www.iniaiv.pt/images/publicacoes/livros-manuais/Manual\\_Fertilizacao\\_das\\_culturas.pdf](https://www.iniaiv.pt/images/publicacoes/livros-manuais/Manual_Fertilizacao_das_culturas.pdf)).

<sup>b</sup> Limite para rega por aspersão; <sup>c</sup> Outros tipos de rega. <sup>d</sup> Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, ANEXO XVI: Qualidade das águas destinadas à rega (VMR: valor máximo recomendado).

O Responsável

  
(Rosinda Leonor S. Pato)

## Anexo II. Parâmetros analisados e metodologias utilizadas nas análises

Escola Superior Agrária de  
Coimbra

Sector de Solos e Fertilidade

<b>Corretivos orgânicos</b>	Humidade (EN 13040:1999); massa volúmica aparente compactada (FCQAO, 1994); pH (H <sub>2</sub> O) (EN 13037 1999); condutividade eléctrica (EN 13038: 1999); carbono orgânico - combustão seca a 590oC (LECO®1997); matéria orgânica (EN 13039:1999); azoto - Kjeldahl (Bremner, 1979; Póvoas & Barral, 1992); Boro – azometina H/EAM com fluxo contínuo segmentado (Skalar®, 2004a); fósforo (EN 13650:2001/EAM); Ca, Mg, K, Fe, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn (EN 13650:2001/FAAS); Cd (EN 13650:2001/GFAAS); Hg - Combustão (LECO®, 2002).
<b>Solos</b>	Textura de campo (LQARS, 1977); Textura laboratorial (Silva, 1967; ISO 11277:2009); pH (H <sub>2</sub> O) - (ISO 10390:2005); condutividade eléctrica – 1:2 (p/v); carbono orgânico/ matéria orgânica - combustão seca a 590°C (LECO®, 1997); fósforo extraível - extração com água desmineralizada (1/5)/EAM; azoto - <i>Kjeldahl</i> (Bremner, 1979); potássio, cálcio e magnésio extraíveis - extração com água desmineralizada (1/5)/FAAS com chama (L.Q.A.R.S., 2006); P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e K <sub>2</sub> O extraíveis: <i>Egnér-Riehm</i> (Balbino, 1968; Póvoas & Barral, 1992); Catiões de troca (Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> ): método de acetato de amónio N a pH 7 (Chapman, 1965); micronutrientes extraíveis (Cu, Fe, Zn, Mn): extracção com acetato de amónio 0,5 M, ácido acético 0,5 M e EDTA, acertada a pH 4,65 (Lakanen & Ervio, 1971); boro extraível: extração com CaCl <sub>2</sub> 0,01M, fervura 5 minutos (1/5)/azomethina H/ EAM com fluxo contínuo segmentado (Skalar®, 2004a); Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn «totais»: extração por água régia (ISO 11466:1995)/FAAS (ISO 11047:1998); Cd (GFAAS/ ISO 11047:1998); Hg - Combustão (LECO®, 2002).
<b>Águas de rega</b>	pH - eletrometria; condutividade eléctrica - condutimetria; cloretos - método de Mohr; potássio, cálcio, magnésio, sódio/FAAS; nitratos – redução por coluna de cádmio/EAM com fluxo contínuo segmentado (Skalar®, 2004b).
<b>Material vegetal</b>	Secagem a 60oC; azoto - <i>Kjeldahl</i> (Bremner, 1979); fósforo – digestão seca a 480-500oC com redissolução com ácido diluído/EAM (Lucas & Sequeira, 1975); nutrientes: Ca, Mg, K; Cu, Zn, Fe, Mn, Cr, Ni, Pb*, Cd* - digestão seca a 480-500oC com redissolução com ácido diluído/FAAS (Lucas & Sequeira, 1976) *GFAAS; boro - extração com H <sub>2</sub> O desmineralizada a 80oC (1:100)/azometina H/EAM com fluxo contínuo segmentado (Skalar®, 2004a); Hg - Combustão (LECO®, 2002).

AEM – Espectrometria de absorção molecular; FAAS-Espectrometria de absorção atómica com chama;

\*GFAAS - Espectrometria de absorção atómica com forno de grafite

### Bibliografia

- Balbino, L. R. (1968) O método de Egnér-Riehm na determinação do fósforo e do potássio “assimiláveis” em solos de Portugal pp. 46-56. Revista Agronómica 51.
- Bremner, J.M. (1979) Total Nitrogen pp. 1149-1178. In: Methods of Soil Analyses. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 5th edition. Agronomy 9. Black, C.A.; Evans, D.D.; White, J.L.; Ensminger, L.E.; Clarck, F.E. eds. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

Chapman, H.D. (1965) Total Exchangeable bases pp. 902-904. In: Methods of Soil Analyses. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 5th edition. Agronomy 9. Black, C.A.; Evans, D. D; White, J.L.; Ensminger, L.E.; Clarck, F.E. eds. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

CE - Comissão Europeia. 2016. Economia circular: Novo regulamento para incentivar a utilização de adubos orgânicos e de adubos à base de resíduos. Bruxelas.

Decreto-Lei 103/2015, de 15 de Julho. Diário da República, 1.ª série — N.º 114 — 15 de Julho de 2015.

Despacho n.º 1230/2018 “Código de Boas Práticas Agrícolas”. Diário da República, 2.ª série — N.º 25 — 5 de fevereiro de 2018

ISO 10390:2005(E), “Soil quality - Determination of pH”. Second edition, Geneva. 7 p.

EN 13037:1999 “Soil improvers and growing media - Determination of pH”.

EN 13038:1999 Soil improvers and growing media-Determination of electrical conductivity. European Committee for Standardization, Brussels. 9 p.

EN 13039:1999 Soil improvers and growing media-Determination of organic matter content and ash. European Committee for Standardization, Brussels. 7 p.

EN 13040: 1999 Soil improvers and growing media – Sample preparation for chemical and physical tests, determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density. European Committee for Standardization, Brussels. 14 p.

EN 13650:2001 Soil improvers and growing media-Extraction of aqua regia soluble elements. European Committee for Standardization, Brussels. 17 p.

FCQAO - Federal compost quality Assurance Organization (1994) Methods Book for the analysis of compost, November.

ISO 11047:1998(E) – Soil quality – Determination of cadmium, chromium, cobalt, copper, lead, manganese, nickel and zinc in aqua regia extracts of soil – Flame and electrothermal atomic spectrometric methods. First edition, Genève, Switzerland. 18 p.

ISO 11466:1995(E) - Soil quality – Extraction of trace elements soluble in aqua regia. First edition, Genève, Switzerland. 6 p.

ISO 11277:2009(E) - Soil quality – Determination of particle size distribution in mineral soil material – Method by sieving and sedimentation. First edition, Genève, Switzerland. 34 p.

Lakanen, E.; Ervio, R. (1971) A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils – In Acta Agraria Fennica 123, 223-232.

LECO® (2002) AMA 254 – Advanced Mercury Analyser Operating Manual. Windows. Altec Lda., Khodlova 1297, 193 00 Prague 9, Czech Republic.

LECO® (1997) Instruction Manual SC-144DR Dual Range Sulfur and Carbon Analysis System.

LQARS - Laboratório Agrícola Rebelo da Silva (2006) Manual de fertilização das culturas. I.N.I.A.P. Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, 2ª edição. Lisboa, Portugal. 282 p.

LQARS - Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (1977) Sector de Fertilidade do Solo. DGSA - Ministério da Agricultura. Lisboa, Portugal. 39 p.

Lucas, M.D. e Sequeira, E.M. (1976) Determinação do Cu, Zn, Mn, Fe, Ca, Mg, K, e Na totais das plantas por espectrofotometria de absorção atômica e fotometria de chama. Pedologia, 11, 1: 163 169.

Póvoas, I.; Barral, M.F. (1992) Métodos de análise de solos. Comunicações – Instituto de Investigação Científica Tropical. Série de Ciências Agrárias. Lisboa. 61 p.

REGULAMENTO (CE) n.o 1881/2006 DA COMISSÃO de 19 de Dezembro de 2006 que fixa os teores máximos de certos contaminantes presentes nos géneros alimentícios (Texto relevante para efeitos do EEE) (JO L 364 de 20.12.2006, p. 5), 40p.


REGULAMENTO (CE) n.º 629/2008 DA COMISSÃO de 2 de Julho de 2008 que altera o Regulamento (CE) n.º1881/2006 que fixa os teores máximos de certos contaminantes presentes nos géneros alimentícios, 4 p.

Silva, A.A. (1967) Determinação da Textura do Solo – Método da pipeta. Pedologia 2, pp. 129 139. EAN, Oeiras, in Silva, A.A.; Alvim, A.J.S. e Santos, M.J.(eds.) Métodos de análise de solos, plantas e águas (1975), Pedologia 10, nº 3, pp. 45 58. Oeiras: Estação Agronómica Nacional.

Skalar (2004a) Skalar Methods, Analysis: Boron, catnr. 197 335. 7 p.

Skalar (2004b) Skalar Methods, Analysis: Nitrate + Nitrite, catnr. 461-322 (+ P1). 11 p

### Anexo III. Grau de maturação - teste de Auto-Aquecimento

 <b>Escola Superior Agrária de Coimbra</b> Departamento de Ciências Exatas e Ambiente	Sector de Solos e Fertilidade	<b>Método:</b> PTE-S-COM 13	
	<b>Procedimento Técnico de Ensaio</b>	<b>Edição:</b> A <b>Data:</b>	<b>Revisão:</b> 0 <b>Data:</b>

#### Compostos Orgânicos: Grau de maturação - teste de Auto-Aquecimento

##### 1. Preâmbulo

Este documento especifica um método para determinar a capacidade de auto-aquecimento de um composto de matéria fresca. O teste deve ser realizado em condições ótimas e normalizadas de humidade do composto. Amostras de composto demasiado secas ou extremamente húmidas conduzem a capacidades de auto-aquecimento subestimadas o que se traduz numa sobrestima do grau de maturação.

##### 2. Resumo do processo

Após ajuste do teor de humidade do composto, a amostra de matéria fresca é introduzida num vaso de Dewar de 1,5 L de capacidade; depois de cheio, o vaso equipado com um dispositivo de medição de temperatura é selado.

Durante um período de 10 dias a temperatura do seu interior é monitorizada: neste período o composto, dependendo do seu grau de maturação, poderá aquecer em consequência da respiração microbiana. A temperatura máxima atingida durante este período é então dependente do grau de maturação do composto em análise.

**Nota 1:** O teste de auto-aquecimento deve ser realizado imediatamente após a colheita da amostra. Se por razões logísticas não for possível iniciar a análise de imediato, a amostra deverá ser refrigerada sendo depois analisada na altura conveniente, após acondicionamento à temperatura ambiente.

##### 3. Materiais

**3.1. Vasos de Dewar:** capacidade de 1,5 L e diâmetro interno de 100mm

**3.2. Equipamento de medição de temperatura:** conjunto de sonda de temperatura ligada

**3.3.** a dispositivo de leitura.

##### 4. Preparação da amostra

A amostra deve ser crivada utilizando um crivo de malha quadrada inferior a 10mm (Preparar a amostra de acordo com o procedimento PTE-S-COM 2)

O teor de humidade do composto com granulometria inferior a 10 mm deve ser ajustado para níveis considerados ótimos à actividade microbiana. Compostos com baixos níveis de matéria orgânica necessitam de valores de humidade mais baixos do que substratos com índices de matéria orgânica superiores.

O teor óptimo de humidade do composto em análise pode ser aferido recorrendo ao “teste da mão”. Uma porção da amostra de composto é espremida com a mão: se se constatar a escorrência de água, então a amostra está demasiado húmida; se pelo contrário, quando se liberta a mão, a amostra se “desfaz”, então o composto está muito seco. O teor de humidade é adequado quando após espremida a amostra apresenta um aspecto compacto que apenas se “desfaz” após força externa.

Quando a amostra está muito húmida está deverá ser seca com cuidado, caso contrário está estiver muito seca, a adição de água deverá ser realizada de forma uniforme.

##### 5. Procedimento

<b>Elaborado por:</b> Micaela Soares	<b>Verificado por:</b>	<b>Aprovado por:</b>	<b>Distribuição:</b>
<b>Data:</b>	<b>Data:</b>	<b>Data:</b>	

Após ajuste do teor de humidade do composto o vaso de Dewar deverá ser cheio até ao cimo com o substrato disposto de uma forma não compactada. O sensor de temperatura é colocado no primeiro terço a partir da base do vaso. A montagem deste ensaio de autoaquecimento é realizada à temperatura ambiente ( $\pm 20^{\circ}\text{C}$ ).

A temperatura máxima deverá ser atingida entre o 2º e 5º dia de ensaio. Geralmente o teste dura 10 dias e termina após a temperatura ter atingido um máximo, e mostrar uma tendência de decréscimo.

Caso não seja possível ter um registo contínuo da temperatura devem ser realizadas, pelo menos duas leituras por dia, espaçadas de um período superior a 8 horas. Deverá também ser registada a temperatura ambiente durante a realização do ensaio.

## 6. Avaliação dos Resultados

A atribuição do grau de maturação é baseada na temperatura máxima atingida durante o ensaio de Dewar. (Tabela 1)

**Tabela 1** – Grau de maturação do composto de acordo com a gama de temperaturas atingida no Teste de Dewar.

Temperatura máxima Corrigida (T <sub>mc</sub> ) (°C)	Grau de estabilidade
20-30	V
30-40	IV
40-50	III
50-60	II
60-70	I

O relatório de análise deve indicar a seguinte informação:

- Referência ao método interno seguido
- Completa identificação da amostra
- Resultado da determinação, indicando o grau de maturação correspondente

Nota 2: A classificação do composto como “fresco”, “semimaturado” e “maturado” é realizada cruzando os resultados obtidos no Teste de Auto-Aquecimento (descrito neste documento) e no Teste de Fitotoxicidade (Método PTE – S – COM 14).

**Composto maturado:**  
**Teste Dewar - T<sub>max</sub>=40°C**

**Teste Fitotoxicidade - 90% produção biomassa**

**Composto fresco:**  
**Teste Dewar - T<sub>max</sub>>50°C**

**Composto semimaturado:**  
**Teste Dewar - T<sub>max</sub>=50°C**

**Teste Fitotoxicidade - 80% produção**

## 7. Referências Bibliográficas

“Methods Book for the analysis of compost”, Federal compost quality Assurance Organization (FCQAO), Novembro 1994.

Elaborado por:	Verificado por:	Aprovado por:	Distribuição:
Micaela Soares Data:	Data:	Data:	



**Anexo V. Produção de massa verde (gramas) no ensaio de alface em vaso**

<b>repet--&gt;</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>Média</b>
<b>T</b>	16,66	17,25	14,33	14,48	15,13	15,57
<b>C 50</b>	10,34	12,82	16,80	12,47	17,22	13,93
<b>C 300</b>	44,44	41,56	43,43	37,04	49,58	43,21
<b>A 50</b>	39,38	41,06	34,60	42,90	33,70	38,33
<b>A 300</b>	109,87	93,40	106,21	115,85	106,32	106,33
<b>M5 50</b>	14,63	21,85	20,35	22,63	25,69	21,03
<b>M5 150</b>	23,77	23,43	18,57	23,39	21,66	22,16
<b>M5 300</b>	22,56	25,70	22,86	26,41	24,11	24,33
<b>M5 600</b>	22,92	25,87	27,03	23,76	25,38	24,99
<b>M6 50</b>	13,83	14,31	18,45	18,29	17,65	16,51
<b>M6 150</b>	26,70	20,29	20,70	15,88	26,75	22,06
<b>M6 300</b>	18,65	18,67	21,01	30,34	29,57	23,65
<b>M6 600</b>	29,62	25,94	29,34	26,67	34,24	29,16
<b>M8 50</b>	14,98	18,37	14,65	20,48	13,84	16,46
<b>M8 150</b>	15,09	19,50	17,62	23,55	24,49	20,05
<b>M8 300</b>	21,30	18,12	20,30	23,18	16,76	19,93
<b>M8 600</b>	36,45	34,48	26,76	29,73	33,32	32,15
<b>M9 50</b>	16,13	11,27	16,37	12,95	16,50	14,64
<b>M9 150</b>	10,87	11,11	14,59	10,90	13,94	12,28
<b>M9 300</b>	12,20	10,66	8,70	10,37	comida	10,48
<b>M9 600</b>	6,76	7,21	6,52	6,80	5,47	6,55
<b>M12 50</b>	17,43	17,87	19,60	15,13	14,86	16,98
<b>M12 150</b>	27,45	28,18	26,84	27,78	23,50	26,75
<b>M12 300</b>	36,92	35,31	34,06	35,27	48,48	38,01
<b>M12 600</b>	44,42	46,21	41,74	43,35	52,18	45,58
<b>M15 50</b>	21,50	22,02	18,11	26,38	21,65	21,93
<b>M15 150</b>	25,97	23,24	27,30	25,34	27,64	25,90
<b>M15 300</b>	19,15	25,53	27,66	21,96	29,50	24,76
<b>M15 600</b>	26,99	28,14	24,09	24,06	19,50	24,56

## Anexo VI. Análises de solo (inicial e finais)

Mistura	Rep.	M. O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	B	Fe	Zn	Cu	Mn	CTC	pH
		%	mg kg <sup>-1</sup>							cmole kg <sup>-1</sup>	
Solo inicial		0,75	28,38	40	0,31	43,54	0,485	1,848	9,081	3,71	6,40
T	I	0,78	32,68	35	0,472	48,17	0,622	2,237	8,19	3,65	6,00
T	II	0,71	33,3	36	0,52	51,28	0,697	2,363	8,754	3,80	6,00
T	III	0,75	34,84	36	0,51	53,47	0,634	2,278	9,033	3,72	6,10
C 50	I	0,67	39,46	48	1,07	49,81	0,697	2,219	9,908	3,76	6,00
C 50	II	0,78	34,84	45	0,952	47,58	0,715	2,184	8,232	3,61	6,00
C 50	III	0,69	38,54	44	1,01	49,94	0,753	2,933	8,303	3,78	6,00
C 300	I	0,98	82,6	91	1,114	55,85	1,204	2,4	10,53	4,32	6,10
C 300	II	0,98	66,88	98	1,1	52,91	1,068	2,57	9,401	4,55	6,10
C 300	III	0,97	84,14	96	1,292	59,16	1,201	2,933	11,44	4,65	6,10
A 50	I	0,71	36,7	40	0,54	49,17	0,874	2,886	9,109	3,88	6,10
A 50	II	0,71	39,16	39	0,59	45,66	0,828	2,596	8,431	4,00	6,00
A 50	III	0,69	41,32	36	0,628	49,91	0,833	2,493	7,776	3,67	6,10
A 300	I	0,85	68,12	50	0,702	50,52	1,675	2,453	11,389	4,12	6,10
A 300	II	0,79	75,82	58	0,68	45,77	1,347	2,263	10,31	4,09	6,10
A 300	III	0,81	72,12	52	0,74	44,9	1,783	2,429	9,879	4,17	6,20
M5 50	I	0,65	32,12	43	0,45	36,76	0,598	2,213	7,497	3,52	6,00
M5 50	II	0,71	26,52	45	0,42	41,51	0,683	2,596	9,125	3,61	5,90
M5 50	III	0,68	37	45	0,47	40,05	0,683	2,629	8,228	3,51	6,00
M5 150	I	0,8	41,62	73	0,746	45,52	0,734	2,854	9,883	3,40	6,00
M5 150	II	0,68	32,08	63	0,584	44,72	0,734	2,413	9,533	2,82	5,80
M5 150	III	0,66	29,3	67	0,66	43,75	0,761	2,386	9,694	3,61	5,90
M5 300	I	0,71	39,16	103	0,79	46,17	0,811	2,613	10,905	3,63	6,10
M5 300	II	0,74	43,46	107	0,656	44,88	0,734	2,869	10,552	3,58	6,00
M5 300	III	0,74	41,62	108	0,63	50,33	0,721	2,368	11,226	3,46	6,10
M5 600	I	0,96	54,26	181	0,74	48,93	0,931	2,479	11,402	4,54	6,40
M5 600	II	0,92	52,72	178	0,73	52,83	0,911	2,474	12,473	4,39	6,50
M5 600	III	0,98	58,26	175	0,68	49,47	1,001	2,458	11,343	4,67	6,50
M6 50	I	0,7	39,46	46	0,79	40,57	0,733	2,259	8,656	3,73	6,30
M6 50	II	0,77	34,22	48	0,72	43,16	0,781	2,784	9,431	3,98	6,20
M6 50	III	0,66	24,68	44	0,694	39,79	0,807	3,017	9,353	3,63	6,30
M6 150	I	0,84	44,08	69	0,956	40,07	0,842	3,149	8,246	4,24	6,20
M6 150	II	0,77	30,22	77	0,938	43,12	0,953	3,254	9,069	4,34	6,20
M6 150	III	0,83	35,76	77	0,854	43,37	0,928	2,748	9,918	4,13	6,20
M6 300	I	0,79	42,54	126	1,07	45,04	0,953	3,447	9,437	4,29	6,30
M6 300	II	0,75	55,48	127	1	45,44	1,024	3,169	10,042	4,33	6,30
M6 300	III	0,76	47,78	138	1,144	48,66	1,217	3,724	8,917	4,51	6,30
M6 600	I	1,08	69,04	270	1,218	51,13	1,414	3,252	11,656	5,43	6,90
M6 600	II	0,87	67,5	244	1,306	56,6	1,5	3,097	13,865	5,34	6,90
M6 600	III	0,82	64,42	246	1,218	49,83	1,38	2,93	12,103	5,40	6,90
M8 50	I	0,84	34,54	46	0,892	45,35	0,948	3,017	8,628	4,04	6,20
M8 50	II	0,77	30,52	47	0,938	47,86	0,845	3,034	9,497	3,93	6,20
M8 50	III	0,79	23,44	47	0,982	39,2	0,736	2,978	8,016	4,08	6,20
M8 150	I	0,77	37,3	76	0,938	62,47	0,991	1,776	7,881	4,31	6,20
M8 150	II	0,82	35,76	77	0,878	61,01	0,963	1,994	8,524	4,07	6,20
M8 150	III	0,75	34,54	75	0,996	58,44	0,901	1,798	7,524	4,10	6,30

M8 300	I	0,83	51,78	135	1,012	72,01	1,329	2,37	9,883	5,02	6,90
M8 300	II	0,97	45,62	131	0,966	43,42	1,363	1,5	6,073	4,35	6,70
M8 300	III	0,88	56,1	124	1,04	55,56	1,186	1,673	9,309	4,65	6,60
M8 600	I	0,74	72,74	240	1,144	38,91	1,458	2,064	14,321	5,40	6,80
M8 600	II	0,67	82,28	242	1,306	61,22	1,565	2,291	15,67	5,10	6,80
M8 600	III	0,77	72,74	262	1,232	75,73	1,744	2,573	14,19	5,45	6,80
M9 50	I	0,79	29,92	45	0,956	61,91	0,93	1,989	6,63	3,92	6,60
M9 50	II	0,75	25,3	42	0,908	67,32	0,989	1,408	7,623	3,76	6,50
M9 50	III	0,83	28,38	39	0,82	27,69	0,996	1,527	5,638	3,34	6,50
M9 150	I	0,87	40,08	71	0,982	50,93	1,07	2,004	6,547	3,57	6,50
M9 150	II	0,82	29	71	0,982	40,99	1,085	1,238	7,986	3,47	6,50
M9 150	III	0,79	32,68	66	0,938	20,93	0,629	1,6	6,092	3,84	6,50
M9 300	I	0,88	47,16	113	1,174	70,02	0,771	1,449	6,768	3,58	6,50
M9 300	II	0,76	42,54	111	1,13	68,6	1,213	2,947	5,955	3,66	6,50
M9 300	III	0,87	35,76	121	1,084	68,55	1,305	1,235	5,259	3,77	6,50
M9 600	I	1,02	67,2	172	0,59	47,66	1,226	2,12	8,5	4,54	6,60
M9 600	II	1,01	84,14	189	0,34	82,34	0,924	1,845	8,453	4,93	6,50
M9 600	III	1,03	74,58	190	0,312	79,4	0,698	2,5	10,578	4,83	6,50
M12 50	I	0,82	46,86	54	0,298	49,65	0,592	1,614	9,503	3,94	6,50
M12 50	II	0,81	43,78	47	0,282	71,34	1,115	1,505	7,73	3,95	6,40
M12 50	III	0,8	53,02	47	0,242	43,32	0,664	2,322	11,721	4,39	6,50
M12 150	I	0,83	61,34	73	0,4	45,66	1,038	2,417	14,294	4,39	6,40
M12 150	II	0,84	73,66	80	0,39	43,13	1,095	2,185	13,681	4,51	6,40
M12 150	III	0,82	63,18	84	0,532	61,55	0,905	2,22	10,602	4,61	6,40
M12 300	I	0,87	87,22	134	0,298	88,7	1,172	2,134	16,861	5,79	7,00
M12 300	II	0,87	82,9	130	0,502	59,4	0,928	4,157	13,316	5,16	7,00
M12 300	III	0,85	90,92	127	0,458	58,49	1,296	1,609	12,46	5,45	7,00
M12 600	I	1,03	135,28	272	0,648	62,89	1,611	2,536	26,885	7,14	7,20
M12 600	II	1,02	126,64	246	0,574	72,89	1,708	2,758	30,74	6,46	7,10
M12 600	III	1,03	129,12	254	0,692	73,57	1,815	2,74	31,946	6,29	7,00
M15 50	I	0,75	45,62	46	0,472	38,91	0,605	2,247	9,63	3,61	6,60
M15 50	II	0,74	45,62	51	0,546	39,61	0,62	2,649	9,939	3,91	6,50
M15 50	III	0,75	40,08	51	0,356	44,25	0,683	2,588	10,047	3,66	6,60
M15 150	I	0,79	45,32	69	0,34	35,23	0,628	2,199	9,585	3,72	6,50
M15 150	II	0,79	55,8	72	0,4	35,51	0,613	2,088	10,639	3,74	6,50
M15 150	III	0,8	49,02	69	0,298	33,39	0,575	2,013	8,025	3,45	6,50
M15 300	I	0,82	49,64	87	0,326	38,14	0,908	2,263	8,223	3,85	6,50
M15 300	II	0,82	58,88	101	0,37	37,08	0,895	2,137	9,606	3,84	6,50
M15 300	III	0,83	47,16	94	0,356	34,27	0,837	2,488	10,351	3,48	6,50
M15 600	I	0,87	64,72	155	0,444	33,61	0,736	2,12	10,114	4,34	6,50
M15 600	II	0,87	59,8	150	0,444	40,61	0,995	2,467	10,2	4,61	6,50
M15 600	III	0,86	64,42	165	0,472	34,19	0,783	1,981	8,955	5,11	6,50