

Valorização de um composto de casca de pinheiro e lamas de ETAR como substrato

Ana Mafalda Peralta da Costa

Dissertação para a obtenção do Grau Mestre em

Engenharia Agronómica

Orientador: Professor Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro

Júri:

Presidente: Doutora Cristina Maria Moniz Simões Oliveira, Professora Associada com Agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutor Ernesto José de Melo Pestana de Vasconcelos, Professor Catedrático Aposentado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

AGRADECIMENTOS

À Câmara Municipal da Maia, pela oportunidade de estudo e por ceder o seu composto produzido na Estação de Compostagem de Lamas de Parada, levando à criação deste trabalho.

Ao Professor Henrique Ribeiro, por me guiar e orientar ao longo da realização deste trabalho, pela disponibilidade e simpatia.

Ao engenheiro do Departamento de Ciências e Engenharia de Biosistemas do ISA, Miguel Martins, à Catarina Chematova Oliveira, e à estudante Tunisiana Imen Zouari, pelo apoio, paciência e simpatia que demonstraram ao longo dos procedimentos experimentais nos laboratórios.

Aos meus amigos e colegas de mestrado Raquel, Rodrigo, Pedro e Ricardo pela companhia e apoio durante estes últimos anos que necessitaram de muita coragem e resiliência.

À minha família, que sempre me apoiaram em qualquer decisão, sempre foram bastante compreensivos e sempre acreditaram em mim.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um composto, à base de lamas de ETAR e casca de pinheiro, na formulação de substratos para plantas envasadas. Usaram-se 6 substratos, 1 substrato comercial e 3 misturas de turfa com composto, nas seguintes proporções em volume: 100:0; 75:25; 50:50; 25:75 e 0:100 (turfa:composto). Os substratos obtidos foram avaliados num ensaio de crescimento em vasos com couve-chinesa, onde se estudou, também, o efeito da fertilização (sem fertilização e com fertilização), num total de doze modalidades. No substrato comercial e na turfa foi feita uma fertilização completa, enquanto que nos substratos com composto apenas se fez um complemento de fertilização com N e/ou K.

A adição de composto à turfa, até 50%, originou aumentos significativos de crescimento da couve-chinesa nas modalidades não fertilizadas, resultado dos nutrientes veiculados pelo composto e das características físicas adequadas destes substratos. Nas modalidades com 75 e 100% de composto houve redução acentuada do peso fresco e peso seco, consequência da salinidade, da degradação das propriedades físicas do substrato e de uma eventual toxicidade de zinco, que atingiu concentrações muito elevadas na parte aérea dessas plantas.

Nas modalidades com 25 e 50% de composto e fertilização (apenas com N e K), o crescimento da couve-chinesa foi idêntica ou superior ao crescimento das plantas cultivadas no substrato comercial e na turfa, fertilizados com todos os nutrientes vegetais.

Os resultados obtidos permitem concluir que o composto estudado poderá ser utilizado na formulação de substratos, até doses de 50%, permitindo reduzir a quantidade de adubos a utilizar na fertilização base dos substratos. No entanto, a dose de composto a utilizar deve ser ajustada às exigências da espécie a cultivar.

Palavras-chave: composto; substrato; lamas de ETAR; casca de pinheiro; turfa

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the performance of a compost, based on sewage sludge and pine bark, in the formulation of substrates to potted plants. It was used 6 substrates, one commercial substrate and three mixtures of peat with compost, in the following volume proportions: 100:0; 75:25; 50:50; 25:75 and 0:100 (peat:compost). The obtained substrates were evaluated in a potted growing test with Chinese cabbage, where it was also studied the effect of fertilization (with fertilization and without fertilization), in a total of twelve modalities. In the commercial substrate and in peat it was made a complete fertilization, while in substrates with compost it was only made a fertilization complement with N and/or K.

The addition of compost to peat, up until 50%, caused significant increases of growth of Chinese cabbage in the modalities with fertilization, result from the nutrients served by the compost, and the adequate physical characteristics of these substrates. In the modalities with 75 and 100% of compost there was an increased dry weight and fresh weight reduction, consequence of salinity, physical properties degradation of the substrate and an eventual zinc toxicity, that reached very high concentrations in the aerial part of those plants.

In modalities with 25 and 50% of compost and fertilization (only with N and K), the growth of Chinese cabbage was identical or superior than the growth of plants cultivated in commercial substrate and peat, fertilized with all vegetal nutrients.

The obtained results allow to conclude that the studied compost can be used in formulation of substrates, until doses of 50%, allowing to reduce the amount of fertilizers used in the fertilization base of substrates. However, the compost dose to use must be adjusted to the specie's requirements.

Keywords: compost; substrate; sewage sludge; pine bark; peat

ÍNDICE

Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract	III
Índice	IV
Índice de Figuras	VI
Índice de Quadros	VII
Lista de abreviaturas e siglas	IX
1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica	2
2.1. Substratos.....	2
2.1.1. Propriedades físicas	3
2.1.1.1. Densidade aparente.....	3
2.1.1.2. Granulometria	3
2.1.1.3. Porosidade total	4
2.1.1.4. Arejamento	4
2.1.1.5. Capacidade de retenção de água	5
2.1.2. Propriedades químicas	7
2.1.2.1. pH.....	8
2.1.2.2. Capacidade de Troca Catiônica	9
2.1.2.3. Salinidade	10
2.1.2.4. Disponibilidade de nutrientes minerais.....	11
2.1.2.5. Toxicidade e fitotoxicidade	12
2.1.3. Propriedades biológicas.....	13
2.2. Materiais usados na formulação de substratos	15
2.2.1. Turfa	15
2.2.2. Composto	18
2.2.2.1. Compostagem.....	18
2.2.2.2. Diferentes tipos de composto e os seus usos como substratos	20
2.2.3. Casca de pinheiro.....	22
2.2.4. Lamas de ETAR	24
3. Material e Métodos	28
3.1. Substratos.....	28
3.1.1. Composto	28
3.1.2. Turfa	28
3.1.3. Substrato Comercial	28

3.1.4. Substratos à base de composto.....	29
3.2. Ensaio com agrião em placas de Petri – Fitotoxicidade	29
3.3. Ensaio em vasos com couve-chinesa	30
3.3.1. Fertilização	30
3.3.2. Instalação e condução do ensaio.....	31
3.3.3. Avaliações efetuadas.....	32
3.4. Metodologias analíticas.....	34
3.4.1. Análises às plantas.....	34
3.4.2. Análises aos substratos	35
3.5. Tratamento estatístico.....	36
4. Resultados e discussão.....	37
4.1. Características dos substratos	37
4.1.1. Propriedades físicas	37
4.1.2. Propriedades químicas	39
4.1.3. Fitotoxicidade	42
4.2. Ensaio de crescimento em vasos.....	43
4.2.1. Germinação das sementes e crescimento das plantas	44
4.2.2. Composição mineral da parte aérea das plantas	47
4.2.3. Extração de nutrientes pela parte aérea das plantas	51
4.2.4. Análise química aos substratos no final do ensaio.....	54
5. Conclusão.....	55
6. Referências Bibliográficas	57
Anexo I - Características do composto NATURANAT	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Efeitos da densidade aparente e tamanho de partículas na retenção de água nos substratos após saturação e drenagem. O--- são minerais finos e Δ----- são minerais grosseiros (adaptado de Bunt, 1983).....	4
Figura 2 - Curva de percentagem de volume com níveis de sucção de água diferentes e os conceitos de retenção de água (adaptado de De Boodt e Verdonck, 1972).	7
Figura 3 - Disponibilidade de nutrientes minerais de acordo com o pH em substratos minerais e orgânicos. (Bunt 1988, <i>cit. in</i> e extraído de Ribeiro, 2016).	8
Figura 4 - Cinco respostas diferentes das plantas ao aumento de percentagens de composto à base de resíduos urbanos num substrato: A- sem resposta; B- plateau; C- aumento linear; D- curva de sino; E- declínio (adaptado de Moore, 2005).....	22
Figura 5 - Vasos numa “sala” a temperatura controlada para germinação. (Fonte: Ana Mafalda Costa, Maio de 2017).	32
Figura 6 - Vista geral dos vasos dispostos aleatoriamente numa plataforma dentro da estufa e, à direita, pormenor da germinação. (Fonte: Ana Mafalda Costa, Maio de 2017).	32
Figura 7 - Comparação de vasos uma semana após germinação, da esquerda para a direita, vaso de 100C, vaso de SC e vaso de 0C+F. (Fonte: Ana Mafalda Costa, Maio de 2017). ...	33
Figura 8 - Escala de classificação para a análise “visual” de raízes dos vasos. (Fonte: Ana Mafalda Costa, Maio de 2017).....	34
Figura 9 - Cilindros de determinação de propriedades físicas comparando a perda de volume após secagem no substrato 0C (número 3) e no substrato 100C (número 18) depois de sujeitos a 105°C. (Fonte: Ana Mafalda Costa, Maio de 2017.).....	38
Figura 10 - Placa de Petri 5B (à esquerda) e placa de Petri 6A (à direita), correspondendo aos substratos 75C e 100C, respetivamente (Fonte: Ana Mafalda Costa, Abril de 2017).	43
Figura 11 - Plantas de couve-chinesa nos substratos sem fertilização ao fim de 3 semanas. Da esquerda para direita, vaso com substrato 0C, 25C, 50C, 75C, 100C e SC. (Fonte: Ana Mafalda Costa, Maio de 2017).....	46
Figura 12 - Plantas de couve-chinesa nos substratos com fertilização ao fim de 3 semanas. Da esquerda para a direita, vaso com substrato 0C+F, 25C+F, 50C+F, 75C+F, 100C+F e SC+F. (Fonte: Ana Mafalda Costa, Maio de 2017).	46

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Interpretação de parâmetros dependendo do tipo de extração, de saturação, a 1:2 v/v e a 1:5 v/v para determinar a condutividade elétrica (Warncke e Krauskopf, 1983).	11
Quadro 2 - Níveis de nutrientes ótimos em substratos (adaptado de Verdonck e Gabriëls, 1988).....	12
Quadro 3 - Algumas propriedades da turfa de <i>Sphagnum</i> (adaptado de Bunt, 1976).	17
Quadro 4 - Valores limite de metais pesados em matérias fertilizantes dependendo da sua classe de uso em mg/kg (adaptado de Decreto-Lei n.º 103/2015).	27
Quadro 5 - Componentes (em % de volume) usados na formulação dos substratos e respetiva fertilização.	30
Quadro 6 - Fertilização complementar aplicada aos substratos com composto.	31
Quadro 7 - Massa volúmica aparente (g dm^{-3}), porosidade total ($\%, \text{v v}^{-1}$) e contrabilidade ($\%$) dos substratos em estudo.	37
Quadro 8 - Retenção de água ($\%, \text{v v}^{-1}$) a pF1, pF1,7 e pF2.	38
Quadro 9 - Arejamento a pF1 ($\%, \text{v v}^{-1}$), água facilmente disponível (AFD), água de reserva (AR) e água disponível (AD) ($\%, \text{v v}^{-1}$).	39
Quadro 10 - pH e condutividade elétrica (mS cm^{-1}) dos substratos no extrato aquoso 1:5 (v v^{-1}).	40
Quadro 11 - Teores de azoto nítrico (N-NO_3^-), azoto amoniacal (N-NH_4^+) e azoto mineral nos substratos (mg L^{-1}) no extrato aquoso 1:5 (v v^{-1}).	40
Quadro 12 - Teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e sódio (Na) nos substratos (mg L^{-1}), no extrato aquoso 1:5 (v v^{-1}).	41
Quadro 13 - Teores de ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), e boro (B) nos substratos (mg L^{-1}), no extrato aquoso 1:5 (v v^{-1}).	42
Quadro 14 - Valores médios de germinação ($\%$), do comprimento de raízes (cm) e valores do Índice de Vitalidade de Munoo-Liisa (MLV, $\%$) dos substratos.	42
Quadro 15 - Valores médios da percentagem de germinação ($\%$) nos substratos com e sem fertilização.	44
Quadro 16 - Valores médios de peso fresco por vaso (PF por vaso), peso seco por vaso (PS por vaso), peso fresco por planta (PF por planta) e peso seco por planta (PS por planta) da parte aérea expressos em gramas sobre os ensaios de crescimento em vasos.....	45
Quadro 17 - Valores médios da avaliação visual da raiz (escala de 0 a 5) das plantas de couve-chinesa dos substratos com e sem fertilização.	47
Quadro 18 - Teores médios de azoto (N), potássio (K), e fósforo (P) na parte aérea das plantas de couve-chinesa (g por kg de matéria seca).	48
Quadro 19 - Teores médios de cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e sódio (Na) na parte aérea das plantas de couve-chinesa (g por kg de matéria seca).	48

Quadro 20 - Teores médios de ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), boro (B), molibdênio (Mo) e níquel (Ni) (mg por kg de matéria seca).	50
Quadro 21 - Teores médios de crômio (Cr), cádmio (Cd) e chumbo (Pb) (mg kg ⁻¹ de matéria seca).	51
Quadro 22 - Teores médios de cádmio (Cd) e chumbo (Pb) (mg kg ⁻¹ de matéria fresca).....	51
Quadro 23 - Teores médios de azoto (N), potássio (K), e fósforo (P) extraídos por cada vaso (mg/vaso).	52
Quadro 24 - Teores médios de cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e sódio (Na) extraídos por cada vaso (mg/vaso).	53
Quadro 25 - Teores médios de ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), boro (B) e molibdênio (Mo) extraídos por cada vaso (µg/vaso).	53
Quadro 26 - Valores médios de pH, CE (mS cm ⁻¹) no extrato aquoso 1:5 (v v ⁻¹), e teores médios de cloretos (Cl ⁻) em mg L ⁻¹ nos substratos dos vasos após o ensaio de crescimento das plantas.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- **AFD** – Água Facilmente Disponível
- **AR** – Água de Reserva
- **ADD** – Água Dificilmente Disponível
- **CTC** – Capacidade de Troca Catiônica
- **CE** – Condutividade Elétrica

1. INTRODUÇÃO

O cultivo em substrato é, hoje em dia, considerado uma mais-valia para a produção de plantas. Ao substituir o solo pelo substrato, evita-se o uso excessivo e a degradação do solo, sendo possível obter-se um ambiente radicular mais controlado para as plantas, quer em termos de água como de nutrientes. Assim, o cultivo em substrato permite um adequado desenvolvimento radicular e um aumento de produtividade das plantas (Landis *et al.*, 2014).

Atualmente, a turfa é um dos principais componentes utilizados na formulação de substratos para o cultivo em vasos. A turfa é um recurso natural, não renovável e a exploração das turfeiras provoca sérios problemas ambientais: emissões de dióxido de carbono para a atmosfera e destruição desses habitats únicos. Por outro lado, no Sul da Europa não existem turfeiras, sendo a turfa e os substratos à base de turfa importados. Por este motivo, tem-se vindo a investigar a possibilidade de utilizar materiais orgânicos, disponíveis localmente, de preço acessível, suscetíveis de substituir a turfa, em parte ou na totalidade, na formulação de substratos (Sterrett, 2005).

Têm sido estudados diversos materiais orgânicos na formulação de substratos e alguns desses materiais, como a fibra de coco, os compostos, as cascas de espécies florestais, a fibra de madeira e os restos de culturas entre outros, têm revelado um bom desempenho (Naasz *et al.*, 2005). Tem sido estudado, ainda, o uso de resíduos industriais e domésticos como resíduos de sólidos urbanos e lamas de tratamento de águas residuais (lamas de ETAR) (Ignatowicz, 2017). O composto é um material de interesse que permite reaproveitar diversos resíduos orgânicos através do processo de tratamento por compostagem, com benefícios ambientais e agronómicos. No entanto, alguns materiais que lhe dão origem podem ter alto teor de sais (Ribeiro *et al.* 2007), metais pesados, como as lamas de ETAR (McGrath *et al.*, 1995) e propriedades variáveis ao longo do tempo (Landis *et al.*, 2014), condicionando o seu uso.

Com o presente trabalho pretende-se estudar a possibilidade de utilizar um composto, produzido pelo Município da Maia, a partir de lamas de ETAR e casca de pinheiro, na formulação de substratos para a produção de plantas envasadas. Efetuaram-se misturas de composto com turfa, em diferentes proporções, e avaliou-se o efeito do composto nas propriedades dos substratos obtidos, na germinação e crescimento radicular de agrião e no crescimento e composição de couve-chinesa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Substratos

Brito e Mourão (2012) definem substratos como uma série de materiais naturais ou artificiais onde se desenvolvem as raízes das plantas cultivadas na ausência de solo em diferentes tipos de recipientes (vasos, contentores, sacos de cultivo, etc.), e que devem servir para fixá-las e suprir as suas necessidades de ar, água e nutrientes. As funções mais importantes de um substrato são garantir o suporte físico e fornecer ar, água e nutrientes, enquanto mantém o equilíbrio entre estes fatores. Cavins *et al.* (2000, *cit. in* Brito e Mourão 2012) apontaram quatro fatores que afetam o *status* da água e do ar em recipientes de cultivo:

- o substrato (componentes e quantidades);
- o recipiente;
- as práticas de irrigação;
- os procedimentos de manuseamento dos substratos.

Quando se produzem plantas dentro de um recipiente, o desenvolvimento das suas raízes, ao contrário do que acontece em pleno campo, é ilimitado pelo pequeno volume do recipiente utilizado (Ribeiro *et al.*, 2001). Como tal, a exigência das propriedades e características de um substrato é mais elevada. Contudo, o uso de substratos tem vantagens sobre o uso de solo como o aumento da produtividade, evita o esgotamento dos solos e evita o uso de maquinaria agrícola, com mais facilidade de manuseamento.

Os materiais para substrato podem ser classificados como naturais orgânicos (composto, turfa, fibra de coco, cascas de espécies vegetais, fibras de madeira, entre outros) ou inorgânicos (como areias, pedra-pomes, entre outros). Dentro desta classificação, os materiais podem ainda ser considerados sub-produtos, resíduos ou de síntese industrial. Normalmente, os materiais orgânicos são os mais usados porque são leves, têm capacidade de retenção de água elevada e Capacidade de Troca Catiónica (CTC), e alguns ainda contêm quantidades mínimas de nutrientes minerais (Landis *et al.*, 2014), conceitos que veremos mais à frente.

Estes materiais têm características que os tornam heterogêneos e únicos, podendo fornecer diferentes características às plantas e tornar mais fácil a escolha do material que se adequa melhor à cultura pretendida. Brito e Mourão (2012) e Landis *et al.* (2014) afirmam que as misturas são mais adequadas para obter bons substratos e são preferíveis ao solo que é variável. Um substrato é caracterizado pelas suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

2.1.1. Propriedades físicas

Os principais fatores de natureza física que afetam o desenvolvimento das plantas estão associados às condições hídricas e de arejamento do substrato (Ribeiro *et al.*, 2001). Segundo De Boodt e Verdonck (1972) um bom substrato, a nível de propriedades físicas, é um material que se caracteriza por uma quantidade de água disponível elevada, bem como volume de ar igualmente elevado. O substrato é caracterizado por três frações: sólida, líquida e gasosa, da qual os poros são preenchidos pelas frações líquida e gasosa. A fração sólida é constituída pelo substrato, a fração líquida fornece água e nutriente, a fração gasosa fornece oxigénio às raízes.

2.1.1.1. Densidade aparente

É definida como a massa seca do substrato por unidade de volume (num estado húmido) e é medido em g/cm^3 (Wallach, 2008). A densidade aparente é útil para o estudo da função de suporte físico das plantas nos substratos (Landis *et al.*, 2014), visto que substratos com baixa densidade aparente podem prejudicar a estabilidade do recipiente de cultivo, especialmente devido ao vento (Bunt, 1983; Wallach, 2008). Contudo, a compactação de um substrato pode ter um efeito negativo na medida em que aumenta a densidade aparente e diminui a porosidade. Como tal, a densidade aparente e a porosidade encontram-se inversamente relacionadas (Miner, 1994). Todos os métodos de determinação da densidade aparente baseiam-se num princípio: o material húmido é deixado a assentar ou comprimido usando uma pressão conhecida dentro de um cilindro de volume conhecido, posteriormente seco e pesado (Wallach, 2008).

2.1.1.2. Granulometria

O tamanho de partículas e a composição mineral determinam a natureza e o comportamento de um substrato: a sua geometria interna e porosidade, a sua interação com fluidos e solutos, bem como a sua compressibilidade e força (Wallach, 2008). Entre partículas de maior dimensão formam-se macroporos e entre partículas de menor dimensão formam-se microporos, tornando-se importante a existência de uma mistura de tamanhos de partículas. Na verdade, o diâmetro máximo de partículas minerais, a sua forma, a porosidade, a textura de superfície e a densidade afetam a porosidade total e o volume de ar no substrato (Bunt, 1983). Muitos autores defendem diferentes valores de granulometria para um substrato ideal. Bunt (1983) provou que partículas maiores que 0,5 mm têm pouco efeito na retenção de água ou na porosidade de volume de ar, enquanto que partículas entre 0,1 e 0,25 mm tiveram o efeito oposto. Já Landis *et al.*, (2014) defendem que para promover uma boa porosidade os valores devem estar dentro do intervalo 0,8 e 6 mm, promovendo a mistura de tamanhos de partículas.

A figura 1 mostra que as partículas grosseiras e as partículas finas têm um papel importante também no volume de água e na densidade aparente, sabendo que a situação ideal seria uma mistura de materiais, mostrando uma reta entre as duas curvas.

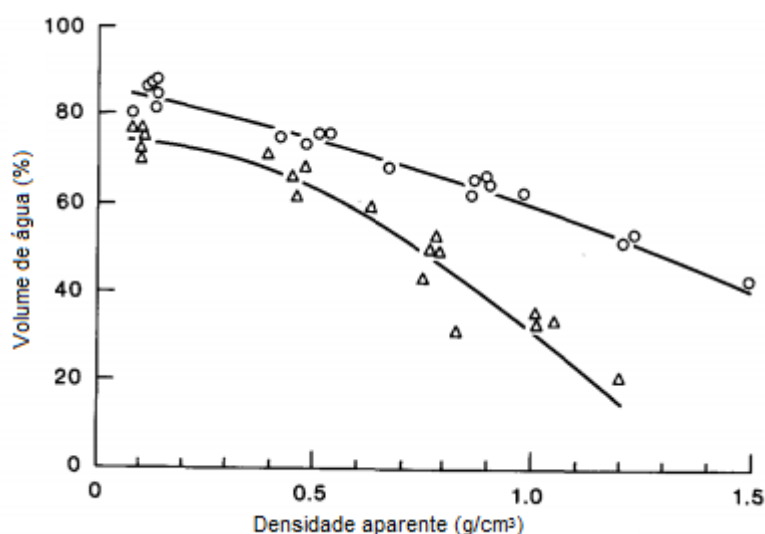


Figura 1 - Efeitos da densidade aparente e tamanho de partículas na retenção de água nos substratos após saturação e drenagem. O--- são minerais finos e Δ----- são minerais grosseiros (adaptado de Bunt, 1983).

2.1.1.3. Porosidade total

Os volumes combinados de fase gasosa e líquida são definidas como a porosidade total do substrato ou espaço total de poros. Esta está relacionada com a forma, tamanho e arranjo das partículas (Wallach, 2008). A equação que expressa a porosidade total relacionada com a densidade é a seguinte (Miner, 1994):

$$Pt (\%) = 100 (1 - d_a/d_r)$$

A densidade real (d_r) é o coeficiente entre a massa das partículas do substrato e o volume que ocupam, sem considerar os poros (Miner, 1994). Segundo este autor, o valor médio da densidade real num composto orgânico é de 1,5 g/ml. Para substratos, procuram-se valores de porosidade total entre $0,75 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ e $0,90 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ (Ferraz *et al.*, 2005). De Boodt e Verdonck (1972) afirmam que o substrato ideal deve ter cerca de 85% de porosidade total. A porosidade total é importante para determinar a porosidade ocupado por ar (arejamento) e a porosidade ocupada por água, que se define por capacidade de retenção de água.

2.1.1.4. Arejamento

Os macroporos (poros de maior dimensão) são responsáveis pelo arejamento do substrato (Landis *et al.*, 2014), permitindo uma penetração da raiz no meio de cultivo e o acesso a uma fonte de oxigénio. O arejamento é definido como a percentagem volumétrica de ar num substrato após drenagem livre (Wallach, 2008), isto é, após a irrigação e

escoamento de água por força gravitacional. Também pode ser definido como a diferença em percentagem de volume entre a porosidade total e a água retida a 10 cm de tensão aplicada ao substrato (De Boodt e Verdonck, 1972; Raviv *et al.*, 2004). Bunt (1983) considera que valores entre os 10% e os 15% de arejamento são aceitáveis. Já De Boodt e Verdonck, (1972) afirmam que à tensão de 10 cm, o substrato deve ter cerca de 40% de ar. A falta de acordo sobre os valores ideais de arejamento pode dever-se a três causas principais: diferentes tolerâncias das plantas a níveis baixos de arejamento, influência de fatores ambientais e de manuseamento; e diferentes métodos para determinar os valores de porosidade ocupada por ar (Miner, 1994).

O arejamento é um aspeto a ter em conta no substrato devido ao facto de que a deficiência de oxigénio a nível radicular poder provocar danos no crescimento das plantas. Raviv *et al.* (2004) defendem que a deficiência de oxigénio pode resultar de diferentes fatores:

- A taxa de crescimento elevada em plantas de recipientes está associada a um aumento de taxa de respiração radicular;
- Uma exigência em água torna a incidência de ar difícil no substrato;
- As temperaturas nas estufas onde são mantidas algumas plantas em substrato são mais elevadas do que a temperatura ambiente, o que aumenta a respiração enquanto diminui os níveis de oxigénio solúvel na solução do substrato;
- Os microrganismos aeróbicos da rizosfera competem com as raízes pelo oxigénio, especialmente quando tem matéria orgânica.

2.1.1.5. Capacidade de retenção de água

A capacidade de retenção de água é definida pela capacidade que um substrato tem de reter água nos microporos (poros de pequena dimensão) através da força de adesão às partículas. A água é fornecida às raízes e das raízes à parte aérea da planta através de diferenças de gradientes potenciais, sabendo que a água move-se no sentido de potenciais negativos. Raviv *et al.* (2004) considera que o potencial total da água é uma soma dos potenciais gravitacional, osmótico (proporcional às forças entre partículas dissolvidas e as moléculas de água; normalmente constante) e matricial, que combina forças de adesão entre as partículas da fração sólida do substrato e as moléculas de água. Para produção de substratos o potencial matricial varia entre -0,001 e -0,01 MPa.

A capacidade de contentor (CC) é a quantidade máxima de água retida por um substrato num recipiente de cultura (vaso, contentor, etc.), após saturação e drenagem livre. Esta propriedade é semelhante à Capacidade de Campo, termo usado para o estudo de solos. Em substratos, os termos para a capacidade de retenção de água são (De Boodt e Verdonck, 1972; Brito e Mourão, 2012):

- Água Facilmente Disponível (AFD), a quantidade de água libertada do material estudado quando a sucção aplicada ao substrato aumenta de 10 cm (ou 1kPa de pressão ou logaritmo pF1) para 50 cm (ou 5kPa de pressão ou logaritmo pF1,7);
- Água de Reserva (AR), a quantidade de água libertada quando a sucção aplicada ao substrato aumenta de 50 cm (ou 5kPa ou pF1,7) para 100 cm (ou 10kPa ou pF2);
- Água Dificilmente Disponível (ADD), a quantidade de água retida à tensão de sucção de 100 cm (ou 10kPa ou pF2).

De Boodt e Verdonck (1972) definem a força de tensão aplicada entre 10 cm e 100 cm devido ao facto de que geralmente as raízes das plantas crescem na camada superficial do substrato, normalmente entre 10 e 15 cm de profundidade. 100 cm é o limite máximo a partir do qual a planta entra em *stress* hídrico (De Boodt e Verdonck, 1972), ou seja o equivalente ao estudo dos solos como o Coeficiente de Emurchecimento, que define o teor de humidade abaixo do qual as plantas murcham de forma permanente.

Da figura 2 pode-se concluir (De Boodt e Verdonck, 1972):

- O volume do material sólido; que não se altera quando o teor de humidade varia pelo aumento de sucção de 0-100 cm;
- O volume de teor de água em função da sucção é dada pela diferença entre o ponto correspondente da curva e o nível de percentagem de volume 100 dado na ordenada. Daí a quantidade de água disponível para a planta quando cresce num substrato é a diferença entre a percentagem de água lida na ordenada entre 10 e 100 cm de sucção;
- O volume de ar no substrato estudado a qualquer sucção é dado pela diferença da percentagem de volume entre o ponto correspondente na curva e o ponto onde a curva atravessa a ordenada.

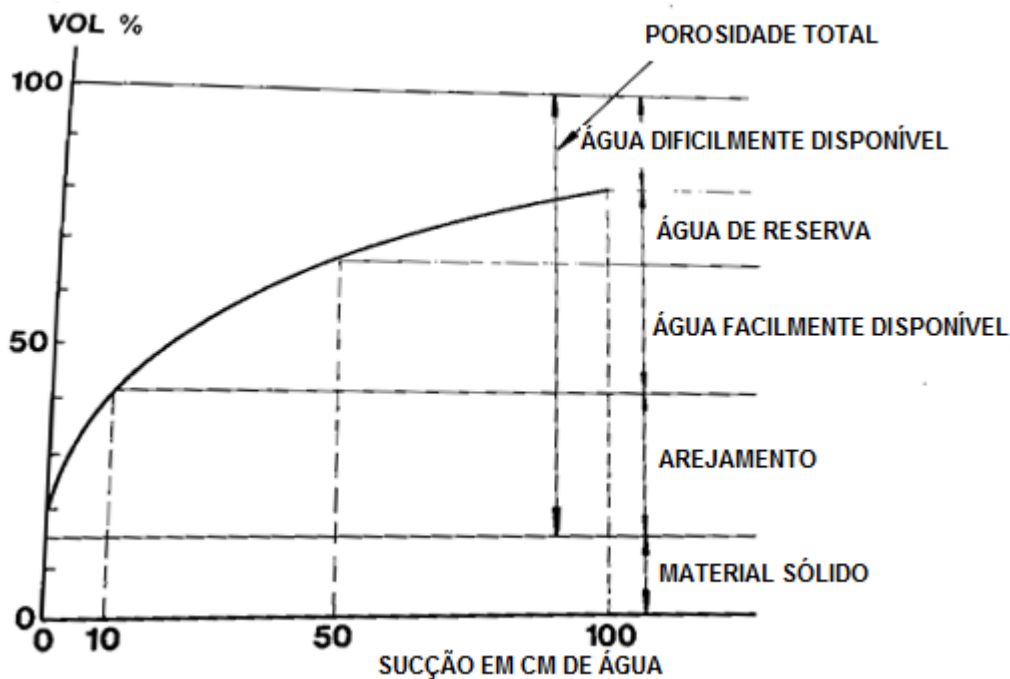


Figura 2 - Curva de porcentagem de volume com níveis de sucção de água diferentes e os conceitos de retenção de água (adaptado de De Boodt e Verdonck, 1972).

Segundo De Boodt e Verdonck (1972) um substrato ideal é um que a 10 cm de tensão apresenta cerca de 40% de ar, a 50 cm apresenta entre 50-60% de ar e a 100 cm de tensão terá entre 60-70% de volume de ar, sendo que a AFD num bom substrato representa de 75-90% de quantidade de água disponível. Segundo Ribeiro *et al.* (2001) os valores ótimos são 20 a 30% de AFD, 4 a 10 % de água de reserva e uma porosidade livre a pF1 superior a 20%. Não obstante, na produção de plantas em ambiente controlado a retenção de humidade pelo substrato é essencial para um crescimento acelerado, bem como o arejamento (Sterrett, 2005).

2.1.2. Propriedades químicas

As propriedades químicas têm uma grande importância no crescimento das plantas na medida em que controla a disponibilidade e a mobilidade dos nutrientes necessários às plantas. Estas são o pH, a capacidade de troca catiónica, a salinidade, a disponibilidade de nutrientes minerais e a toxicidade (ausência de elementos que a causam). De Boodt e Verdonck (1972) afirmam que um bom substrato é aquele que tem uma capacidade de troca catiónica suficientemente alta, uma concentração em sais baixa e uma condutividade elétrica igualmente baixa.

2.1.2.1. pH

O pH é uma medida de concentração de íões H^+ em solução aquosa (Miner, 1994). A importância do pH do substrato está relacionada com o seu efeito na disponibilidade de nutrientes para as plantas e na atividade microbiana (Landis *et al.*, 2014).

A figura 3 mostra a disponibilidade de diferentes nutrientes em função do pH, sendo que a espessura das barras indica maior disponibilidade. A pH demasiado baixo existe uma maior disponibilidade de micronutriente catiões e alumínio na solução do solo/substrato e isso pode levar ao aumento dos riscos de fitotoxicidade (INIAP, 2006; Brito e Mourão, 2012). Ao mesmo tempo, a pH baixo há uma redução da disponibilidade de muitos macronutrientes, como o fósforo, o potássio, o cálcio e o magnésio, e do micronutriente molibdénio (figura 3).

Valores de pH demasiado elevados são igualmente prejudiciais, na medida em que provocam a precipitação de alguns nutrientes, nomeadamente micronutrientes catiões, tornando-os indisponíveis para as plantas, aumentando, assim, os riscos de uma deficiência em micronutrientes (Bruto e Mourão, 2012). A pH elevado a disponibilidade de azoto pode também diminuir devido à perda de íão NH_4^+ para a atmosfera, por volatilização na forma de amoníaco (NH_3).

A maioria das plantas tende a crescer melhor a níveis de pH entre 5,0 e 6,5, embora algumas espécies sejam tolerantes a níveis de pH elevados ou baixos (Landis *et al.*, 2014).

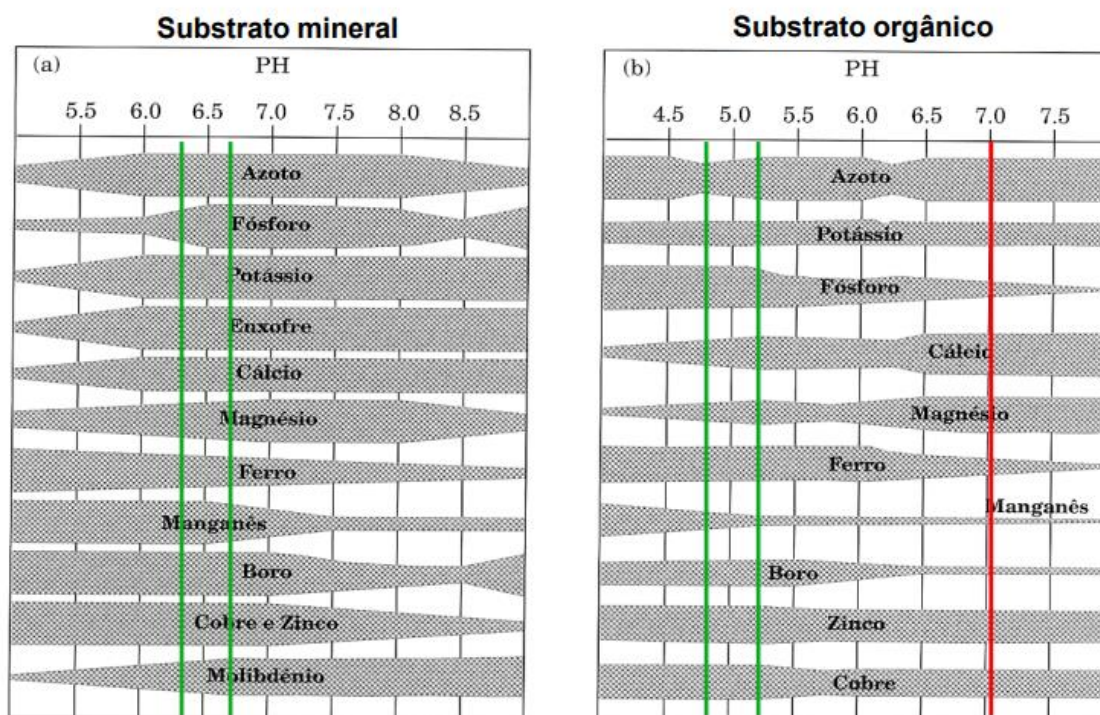


Figura 3 - Disponibilidade de nutrientes minerais de acordo com o pH em substratos minerais e orgânicos. (Bunt 1988, *cit. in* e extraído de Ribeiro, 2016).

No entanto, o pH varia bastante ao longo da produção. Existem quatro razões principais que explicam as variações que se podem verificar no valor do pH do substrato durante a cultura (Brito e Mourão, 2012):

- a utilização de corretivos como o calcário na preparação do substrato;
- a reação da água de rega;
- a reação dos fertilizantes utilizados durante a produção;
- e a espécie vegetal que se está a propagar.

Para controlar o pH elevado pode recorrer-se ao enxofre, sulfato de alumínio ou sulfato de ferro, adubos amoniacais como o sulfato de amónio, e ainda aos ácidos cítrico, nítrico, fosfórico e sulfúrico (Brito e Mourão, 2012). Embora o enxofre possa causar danos por calor no Verão e afetar a atividade biológica.

Para aumentar o valor de pH pode-se utilizar calcário calcítico (carbonato de cálcio) ou dolomítico (carbonato de cálcio e magnésio) (Brito e Mourão, 2012).

2.1.2.2. Capacidade de Troca Catiónica

A capacidade de troca catiónica (CTC) é a capacidade de um substrato para adsorver e trocar iões e depende do seu teor em argilas coloidais e substâncias húmicas (Brito e Mourão, 2012). As argilas coloidais e as substâncias húmicas são colóides, partículas com superfície específica muito elevada, com a particularidade de apresentarem cargas elétricas predominantemente negativas à sua superfície, permitindo assim atrair, reter e trocar elementos que apresentem também cargas elétricas (iões) (INIAP, 2006), sendo estas cargas positivas, ou seja catiões. O conjunto de colóides responsáveis pelos fenómenos de troca ou permuta de iões designa-se por complexo de troca. Os catiões sujeitos ao fenómeno de adsorção são designados catiões de troca, destacando os iões cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), sódio (Na^+), amónio (NH_4^+) entre outros (INIAP, 2006).

O tal de catiões em posição de troca é denominado capacidade de troca catiónica e o seu valor é expresso em miliequivalente por 100 ml de substrato ($\text{meq } 100 \text{ ml}^{-1}$) ou, segundo as recomendações mais recentes, em centimole de carga por litro ($\text{cmol}_+ \text{ L}^{-1}$). Brito e Mourão (2012) consideram que algumas referências a ter em conta para os valores ideais variam entre 6 e 15 $\text{meq } 100 \text{ ml}^{-1}$ ou entre 5 e 10 $\text{meq } 100 \text{ ml}^{-1}$. Estes valores são apenas uma referência visto que a CTC depende muito do material do substrato, da percentagem de matéria orgânica e do pH.

Segundo Landis *et al.* (2014) a capacidade de troca catiónica reflete a capacidade do substrato para armazenar nutrientes e fornece uma indicação da frequência de fertilização necessária.

Ribeiro *et al.* (2001) afirmam que os efeitos positivos do complexo de troca num substrato são a menor perda de nutrientes, o poder tampão, o reservatório de cátions e a resistência a variações de pH, mas que os efeitos negativos são a competição entre complexo de troca e plantas, a dificuldade em controlar as concentrações de nutrientes e o facto de que o complexo de troca pode ser ocupado por elementos indesejáveis, como o Sódio (Na^+).

2.1.2.3. Salinidade

A salinidade é o fator mais limitante à utilização do substrato, visto que quando o teor de sais solúveis é muito elevado as plantas têm dificuldade em se desenvolver e produzir (INIAP, 2006). A condutividade elétrica (CE) é um indicativo da concentração de sais ionizados na solução e fornece um parâmetro para a estimativa da salinidade do substrato e do potencial osmótico da solução (Brito e Mourão, 2012).

Segundo Ribeiro *et al.* (2001) os efeitos negativos da salinidade podem ser atribuídos a diferentes fenómenos:

- Efeito osmótico: elevadas concentrações de sais aumentam a pressão osmótica, baixam o potencial de água no solo, dificultando a absorção de água pela planta (Barker, 1997);
- Efeito específico de determinados iões: elevadas concentrações de sódio, cloro e boro que provocam toxicidade;
- Desequilíbrios nutricionais: redução da disponibilidade de determinados elementos, induzida pela elevada concentração de outros como o sódio e os cloretos.

A salinidade é avaliada através da medição da condutividade elétrica de um extrato obtido a partir do solo ou substrato (Verdonck *et al.*, 1981). Há várias metodologias, uma vez que o extrato aquoso onde se faz a leitura pode ser obtido de diferentes formas:

- Extrato de saturação do substrato (Warncke e Krauskopf, 1983);
- Suspensões de substrato em água, podendo ser utilizadas diferentes proporções substrato:água (em volume), nomeadamente, 1:1,5 (Sonneveld *et al.*, 1974), 1:2 (Warncke e Krauskopf, 1983), 1:5 (EN 13038) e 1:6 (Ansorena-Miner, 1994).

Existindo diferentes métodos para avaliar a condutividade elétrica a interpretação dos resultados é específica para cada método, como exemplificado no quadro 1.

Quadro 1 - Interpretação de parâmetros dependendo do tipo de extração, de saturação, a 1:2 v/v e a 1:5 v/v para determinar a condutividade elétrica (Warncke e Krauskopf, 1983).

Extracto de saturação (mS cm ⁻¹)	Extração 1:2 v/v (mS cm ⁻¹)	Extração 1:5 v/v (mS cm ⁻¹)	Interpretação
<0,74	<0,25	<0,12	Muito baixo; indica baixas concentrações de nutrientes.
0,75-1,99	0,25-0,75	0,12-0,35	Apropriado para sementeiras e espécie sensíveis à salinidade.
2,0-3,49	0,75-1,25	0,35-0,65	Satisfatório para a maioria das plantas; alto para espécies muito sensíveis.
3,5-5,0	1,25-1,75	0,65-0,90	Ligeiramente elevado para a maioria das plantas; satisfatório para espécies vigorosas e com altas necessidades em nutrientes.
5,0-6,0	1,75-2,25	0,9-1,1	Redução do crescimento e vigor; emurchecimento e necroses foliares marginais.
>6	>2,25	>1,1	Danos graves e provavelmente morte das plantas.

Ribeiro *et al.* (2001) consideram que para além das diferenças entre espécies, a tolerância aos sais depende da variedade, da idade da planta, do substrato utilizado, das condições ambientais e das próprias práticas culturais.

2.1.2.4. Disponibilidade de nutrientes minerais

Sabe-se que os nutrientes minerais presentes no substrato nem sempre estão disponíveis para o aproveitamento das plantas, seja porque estão imobilizados ou precipitados. Como tal, o teor total de nutrientes num substrato não corresponde a um valor que possa ser absorvido pela planta. A disponibilidade de nutriente depende da forma química em que se encontra e das outras características químicas do substrato, designadamente, pH, CTC e CE (Brito e Mourão, 2012).

No entanto, os nutrientes podem sempre ser repostos através da fertilização. Ao determinar os teores dos nutrientes disponíveis no substrato através de métodos analíticos de extrações com água ou soluções salinas diluídas, e conhecendo as necessidades em nutrientes das plantas, pode-se estabelecer um plano de fertilização ao longo do crescimento das plantas. Brito e Mourão (2012) ainda assinalam a importância do estudo da percentagem de matéria orgânica e das taxas de mineralização que lhes estão associadas, especialmente se se trabalha em modo de produção biológico.

O valor ideal recomendado para cada nutriente num substrato, dependem da presença de nutrientes no substrato, da fase de crescimento da planta e de que espécie trata cultivar, porque têm sempre necessidades nutricionais diferentes. Não obstante, Verdonck e Gabriëls (1988) apresentam a proposta constante no quadro 2.

Quadro 2 - Níveis de nutrientes ótimos em substratos (adaptado de Verdonck e Gabriëls, 1988).

Nutrientes (mg L ⁻¹)	Plantas sensíveis à salinidade	Plantas de cultivo intensivo
N	25 – 40	30 – 140
P	>30	>30
K	90 – 175	150 – 360
Ca	>400	>400
Mg	125 – 200	150 – 300
Fe	1 – 5	1 – 5
Mn	1 – 5	1 – 5
Cu	0,2 – 2	0,2 – 2
B	0,5 – 2	0,5 – 2
Zn	0,2 – 1	0,2 – 1
Mo	0,05 – 0,1	0,05 – 0,1
Na	<50	<50
Cl	<50	<50

2.1.2.5. Toxicidade e fitotoxicidade

Alguns elementos, substâncias e componentes são tóxicos para as plantas em alguma ou qualquer fase do seu ciclo, podendo até levar à morte da mesma. Estes agentes de toxicidade podem variar desde componentes da matéria orgânica, como fitotoxinas, ou metais pesados, pesticidas ou até mesmo sais solúveis em excesso (salinidade).

A maioria das cascas de árvore e serraduras usadas para substrato contêm químicos naturais que são tóxicos para as plantas. Presume-se que os químicos estão presentes para proteger as árvores contra ataques por parte de animais e microrganismos (Handreck e Black, 1999). No entanto, a casca de coníferas e a serradura de madeira podem ter o nível de fitotoxinas reduzido através da compostagem (Brito e Mourão, 2012; Handreck e Black, 1999).

Os métodos para avaliar a fitotoxicidade dos substratos podem ser variados. Baumgarten e Spiegel (2004) estudaram diversos métodos, mas os mais comuns são através de ensaios de germinação. Segundo Baumgarten e Spiegel (2004) há seis pontos críticos no que toca aos testes de fitotoxicidade:

- Material de referência: deve ser sempre utilizado para servir como referência potencial sobre o crescimento da planta e um constituinte possível para misturas para o material de teste;
- Fertilização: especialmente materiais que já contêm certos nutrientes podem ter riscos de fitotoxicidade, com a necessidade de conhecer os limites máximos admissíveis para cada espécie. Por outro lado, os nutrientes podem interagir com poluentes e encobrir efeitos tóxicos ao melhorar o crescimento da planta;

- Salinidade: especialmente no que toca a lamas e a resíduos sólidos urbanos, é um fator limitante nos testes de toxicidade, devendo-se determinar os valores de condutividade elétrica e diluir (lavagem) o material;
- pH: por vezes o pH pode levar à toxicidade, mas pode ser igualmente necessário para o tipo de uso que se pretende dar ao substrato e para o tipo de espécie florestal ou agrícola;
- Escolha de plantas de teste: depende do tipo de método que se pretende usar para a determinação de fitotoxicidade. Normalmente, os testes com uma só espécie elegem o agrião;
- Capacidade de retenção de água: é essencial o substrato tenha um teor adequado de humidade para permitir a germinação correta das sementes, já que para verificar casos possíveis de fitotoxicidade deve-se garantir as melhores condições possíveis para a germinação.

No que toca a presença de elementos tóxicos como metais pesados, é importante fazer análises aos substratos. E ter conhecimento sobre os limites máximos permitidos em substratos, bem como limites admissíveis para a espécie de plantas de interesse para o cultivo.

2.1.3. Propriedades biológicas

A presença de matéria orgânica num substrato costuma ser indicador da existência de microrganismos porque, de facto, estes são responsáveis por grande parte das ações e reações que ocorrem no substrato. Por outro lado, os constituintes de materiais inorgânicos, sem matéria orgânica, como lã de rocha, perlite e vermiculite, que são estéreis antes do seu uso, podem ser colonizados por microrganismos na altura de transplante, em processos de manuseamento ou por transmissão pelo ar (Carlile e Wilson, 1991). Alguns destes microrganismos, designados antagónicos, podem até auxiliar na supressão de agentes patogénicos como acontece com os fungos antagónicos do género *Trichoderma* (Carlile e Wilson, 1991). Também a inoculação com micorrizas já é uma prática comercial (Brito e Mourão, 2012).

Como já foi referido, o pH pode afetar a atividade biológica. Os microrganismos benéficos para as plantas e, Segundo Handreck e Black (1999), o efeito do pH do solo ou substratos nos microrganismos benéficos para as plantas pode ser o seguinte:

- Bactéria *Rhizobium*: associa-se a leguminosas, por simbiose, fixando azoto atmosférico. Requer Cálcio e o ião H^+ pode ser tóxico. Prefere pH superior a 5.
- Fungos ecto-micorrizais: associa-se a certas plantas por simbiose para extração de fósforo. O pH elevado inibe o seu crescimento e a sua ligação à planta-hóspede.

- Fungos endo-micorrizais: associa-se a certas plantas por simbiose para extração de fósforo. Algumas espécies estão ativas mesmo a pH elevado.
- Decompositores de matéria orgânica: o número de populações de actinomicetas e bactérias diminui com a diminuição do pH; os fungos são decompositores lentos mas dominam em níveis de pH mais baixos.
- Bactérias que convertem ião amónio em ião nitrato: ião amónio veiculado por fertilizantes, só se converte em iões nitrato a pH superior a 6. Abaixo de pH 6 a conversão dá-se muito mais lentamente.
- Bactérias que atacam fungos: pH mais efetivo é entre 6,5 e 7,5.

Enquanto que a turfa, com pH baixo, tem normalmente poucos microrganismos associados, a casca de pinheiro está associada a uma extensa variedade de populações microbianas. Algumas destas populações constituídas por fungos são agentes principais na maturação das cascas, que eliminam compostos fitotóxicos (Carlile e Wilson, 1991).

Mas nem todos os microrganismos são benéficos para as plantas. Muitos microrganismos associados aos materiais podem ser agentes patogénicos que prejudicam o crescimento das plantas. A maioria destes microrganismos que atacam a nível da raiz são fungos (Handreck e Black, 1999). Alguns fungos patogénicos comuns nos solos são *Rhizoctonia*, *Ophiobolus*, *Fusarium*, *Phytophthora*, *Pythium* (Handreck e Black, 1999; Carlile e Wilson, 1991), mas podem ser combatidos através do uso de cultivo sem solo. Handreck e Black (1999) defendem que algumas toxinas libertadas na germinação de algumas espécies de plantas ou na decomposição de resíduos de plantas podem auxiliar no controlo de microrganismos patogénicos. Por vezes, no entanto, o uso de fungicidas para o controlo de agentes patogénicos pode ser necessário (Carlile e Wilson, 1991; Handreck e Black, 1999).

Outro efeito causado por microrganismos é a decomposição e transformação de matéria orgânica, levada a cabo por diferentes tipos de microrganismos, nomeadamente fungos, actinomicetas e bactérias. Esta decomposição provoca alterações assinaláveis nas características dos substratos orgânicos, nomeadamente: aumento do pH, da Capacidade de Troca Catiónica e da temperatura, aumento de salinidade na produção de elementos minerais durante a mineralização que ficam solúveis, síntese de possíveis compostos fitotóxicos, utilização de azoto por parte de microrganismos ficando indisponível para as plantas, alteração da composição e do volume causando compactação, decréscimo de ar disponível e oxigenação insuficiente por elevada libertação de dióxido de carbono, acumulação temporária de NH_4^+ em condições desfavoráveis à nitrificação com possíveis incidências de doenças e sensibilidades a fitotoxicidades (Ribeiro *et al.*, 2001 *cit. in* Matos, 2011). Verifica-se, assim, que a maior parte dos efeitos descritos têm um efeito negativo sobre as propriedades dos substratos e a sua ocorrência está dependente da estabilidade dos materiais orgânicos

usados na formulação dos substratos. Assim, é recomendável a utilização de materiais que sejam estáveis do ponto de vista biológico, isto é, que sejam resistentes à decomposição microbiana. No caso de materiais orgânicos pouco estáveis, deverão ser sujeitos a um prévio processo de estabilização, sendo que o processo mais comum passa pela compostagem.

2.2. Materiais usados na formulação de substratos

2.2.1. Turfa

A turfa é um material orgânico, relativamente estável, extraída de depressões (turfeiras), saturadas de água, onde o crescimento de microrganismos é limitado devido às condições de anaerobiose, daí a sua decomposição ser lenta e parcial, podendo ter muitos milhares de anos (Brito e Mourão, 2012). Normalmente as turfeiras formam-se a temperaturas baixas nos países frios, mas também têm sido encontradas e estudadas turfeiras em países tropicais (Andriessse, 1988; Cameron *et al.*, 1989; Esterle e Ferm, 1994), que normalmente, por terem condições de temperatura mais elevadas, têm condições de aerobiose e permitem ter uma decomposição mais rápida.

A formação de turfa depende de três fatores: o tipo de vegetação que a originou, do estado de decomposição e do seu teor de minerais (Brito e Mourão, 2012; Bunt, 1976). Dependendo da sua origem, a turfa pode ter como base certas espécies, sendo a mais comum a *Sphagnum*. Os países de maior importância para a produção de turfa na Europa ocidental são Alemanha, Finlândia, Suécia, Noruega, Irlanda e Escócia (Bunt, 1976) e no Continente Americano, o Canadá (Brito e Mourão, 2012). A exploração das turfeiras é feita através da drenagem de água e é retirada a camada superior da mesma (com formação de musgos e outras plantas ou populações de fungos).

Segundo Bunt (1976) a classificação de turfeiras na Grã-Bretanha é a seguinte:

- Turfa de bacia baixa: formada através de inundações superficiais de uma depressão ou do preenchimento de um lago. Em ambos os casos a água contém alguns minerais. Os depósitos deste tipo podem ser formados a qualquer altitude mas normalmente ocorrem a baixas altitudes;
- Turfa de bacia alta: a superfície está constantemente saturada devido às propriedades de retenção de humidade dos materiais, bem como da chuva. Normalmente as condições essenciais para a sua formação são mais frias, húmidas e com um baixo nível de minerais. São designadas por turfeiras elevadas ou de elevação devido ao facto de se elevarem acima da superfície e geralmente dão os melhores substratos para fins agrícolas;

- Turfeiras de coberta: semelhante a turfa de bacia alta mas é formada em áreas onde a superfície é continuamente saturada por ação da chuva. Geralmente ocorrem em terrenos pantanosos elevados, mas podem também ocorrer a níveis do mar.

Segundo Bunt (1976) também se pode agrupar as turfas de acordo com as espécies de plantas que lhes deram origem, as turfas de *Sphagnum* e as turfas da família Ciperáceas, incluindo o género *Carex* e o género *Juncus*. Esses dois grupos são assim separados:

- Turfas de *Sphagnum*: a turfa de *Sphagnum* é composta por um material fino e fibroso, considerado um material de boa retenção de água (Naasz *et al.*, 2005). As espécies mais comuns encontradas são *S. papillosum*, *S. imbricatum* e *S. magellanicum*, que são membros do grupo *cymbifolia*, e *S. rubellum*, *S. plumulosum* e *S. fuscum* que pertencem ao grupo das acutifólias. As características gerais de turfas *Sphagnum* são de textura fibrosa e esponjosa, com porosidade elevada e capacidade de retenção de água elevada, pouco teor de cinzas (materiais inorgânicos) e normalmente um pH baixo;
- Turfas de Ciperáceas: este tipo de turfa é formada por Ciperáceas (espécies do género *Carex*) e caniços (*Phragmites*) com *Eriophorum vaginatum* e urze (*Calluna vulgaris*). As turfas de Ciperáceas têm-se desenvolvido sob influência da drenagem de solos minerais. Consequentemente, eles contêm mais nutrientes para plantas do que as turfas de *Sphagnum*. São mais escuras, mais húmidas e decompostas do que as *Sphagnum* e têm uma maior capacidade de troca catiónica por unidade de peso. No entanto, têm uma baixa capacidade de retenção de água ao contrário das *Sphagnum*, sendo por isso menos preferida. Contudo também podem ser usadas na formulação de substratos para plantas envasadas se houver um manuseamento correto. Segundo Bunt (1976) este tipo de turfas possibilita uma compressão mais fácil para fazer blocos prensados (*mottes*) de turfa, usados, entre outros, na produção de crisântemos e alface.

As turfas podem ainda classificar-se em função do seu grau de decomposição. Ribeiro (2016), Brito e Mourão (2012) e Bunt (1976) mencionam as seguintes turfas:

- Turfas louras: turfas pouco descompostas de formação mais recente e formam-se em regiões de climas mais frios e com muita água, pobres em nutrientes, subsiste a condições adversas;
- Turfas negras: muito descompostas, sem poder identificar o que lhe deu origem. Existem turfas de *Sphagnum* mais antigas e as turfas negras herbáceas com outras espécies e de situações menos limitantes, podendo conter teores elevados de sais;
- Turfas de transição: com características intermédias entre os dois tipos de turfa anteriores.

É recomendado o uso de uma a mistura das duas turfas (Brito e Mourão, 2012) porque tira partido das vantagens de cada uma e camufla as desvantagens. As diferenças entre turfas são as seguintes (Ribeiro, 2016):

- turfas louras têm densidade mais baixa do que as negras;
- turfas louras têm maior porosidade total, água disponível e molhabilidade;
- turfas negras têm uma redução de volume maior do que as turfas louras quando estas secam (Brito e Mourão, 2012);
- o pH é mais baixo para turfas louras do que para turfas negras;
- a CTC é mais elevada para as turfas negras do que para as turfas louras.

As propriedades gerais de uma turfa para uso como substrato são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Algumas propriedades da turfa de *Sphagnum* (adaptado de Bunt, 1976).

Densidade aparente (g/L)	60-100
Volume de poros (%)	> 96
Matéria Orgânica (%)	> 98
Cinzas (%)	< 2
Azoto total (% de peso)	0,5-2,5
CTC (meq/100g)	110-130
pH (em água)	3,4-4

Como substrato, a turfa é geralmente usada para melhorar a qualidade de outros materiais, principalmente em termos de retenção de água e de porosidade total. A turfa é constituída por 10% matéria sólida, 90% de água em peso e menos de 25% de peso seco de materiais inorgânicos (Cameron *et al.*, 1989) e têm normalmente pH ácido, densidade baixa, retêm muita água e têm uma capacidade de arejamento variável (Brito e Mourão, 2012) e CTC elevada, comparativamente com outros materiais para substrato (Ribeiro, 2016). Além do mais, constitui uma colonização microbiológica e é de origem natural.

Caso seja necessário um aumento de pH, visto que o pH é relativamente baixo nas turfas, Brito e Mourão (2012) aconselham uma adição de aproximadamente 240 g de calcário por m³ de turfa para aumentar cada 0,1 unidades de pH. Se o uso for de calcário dolomítico, este não deverá ser superior a 2,4 kg/m³ para se evitarem desequilíbrios nutricionais com o potássio.

No entanto, atualmente há uma grande preocupação com o uso de turfa em horticultura (Landis *et al.*, 2014; Ribeiro, 2016; Sterrett, 2005) relacionada com a pouca sustentabilidade da exploração das turfeiras, que são um bem finito e constituem habitats típicos que devem ser conservados. Consequentemente, os preços de turfa têm aumentado e tem-se

intensificado a procura de materiais que a possam substituir. Estes materiais têm sido estudados e pensados na medida em que o uso de turfas será cada vez mais limitado.

2.2.2. Composto

Composto é o material que poderá vir a substituir a turfa devido a ser o material ou resíduo orgânico com melhores propriedades, ser mais barato e mais sustentável para este fim, tendo sido já testado para tal (Moore, 2005). Por exemplo, Hartz *et al.* (1996) afirmam que o composto de origem em *green waste* (resíduos florestais, hortícolas) fornece mais macronutrientes do que a turfa.

Compostagem é o processo aeróbico de humificação e mineralização a temperaturas relativamente elevadas de transformação de materiais orgânicos para uso agrícola, florestal ou solos urbanos, incluindo também a eliminação de agentes patogénicos. Segundo Kala *et al.* (2009), a compostagem é um processo muito popular no manuseamento de resíduos sólidos orgânicos porque reduz o volume, elimina os microrganismos durante a compostagem e o produto final é rico em nutrientes. Os compostos são constituídos por quaisquer tipos de resíduos orgânicos, dependendo do material original de escolha, e a sua qualidade final depende do nível de compostagem e das suas técnicas associadas. Segundo Moore (2005), antes de investir na escolha do composto deve-se ter consciência dos materiais usados, dos processos pré-compostagem, dos processos pós-compostagem, do tempo de compostagem, da maturação do composto, do teor dos materiais inertes, das concentrações de metais pesados e das propriedades físicas e químicas do composto.

2.2.2.1. Compostagem

A compostagem é então importante para o uso de resíduos orgânicos como substrato. Habitualmente, os materiais usados para compostagem podem ser estrumes de animais, resíduos industriais de processamento de comida ou de animais, biosólidos (lamas de ETAR) e resíduos orgânicos vegetais urbanos (Handreck e Black, 1999). Estes autores apresentam vários métodos de compostagem de resíduos, sendo que o mais comum é através de linhas ao ar livre, com arejamento passivo e libertação de alguns odores.

Os materiais de escolha para compostagem devem cumprir com alguns parâmetros de qualidade:

- Ser isento de materiais indesejados como vidros, plásticos, metais e químicos contaminantes;
- Ser isento de sementes ou propágulos de infestantes e agentes patogénicos;
- Ser capaz de reter água e ter porosidade;

- Ter uma boa razão de C/N inicial (30-40 ou 25 segundo Barker (1997)) e de C/P (120-240) (Handreck e Black, 1999);
- Ter uma densidade aparente relativamente baixa, para evitar a compactação e a falta de oxigênio no interior das pilhas ou linhas.

O processo de compostagem é descrito em diversos passos importantes, começando pela remoção de contaminantes e teste aos níveis de metais pesados e outros contaminantes. Deve-se triturar o material até que a maioria das partículas sejam menores do que 50-100 mm (Handreck e Black, 1999), para aumentar a área de superfície e permitir uma decomposição mais eficiente e rápida (Barker, 1997). Os materiais são posteriormente misturados e humedecidos a 50-65% de água por peso total (Handreck e Black, 1999) e distribuídos em linhas ou pilhas. Regularmente estas pilhas devem ser revolvidas para uma compostagem completa do material, para manter as condições de temperaturas e oxigenação. O tempo entre incorporações depende da humidade e do material a decompor.

Após o processo de compostagem, segue-se um processo de maturação que consiste no armazenamento sem revolver o composto. O tempo destes dois processos depende do tipo de uso que se quer dar ao composto, da maturação requerida e do material de origem (Handreck e Black, 1999), podendo variar de 4 a 12 semanas.

Em suma, os diversos parâmetros a controlar durante a compostagem e que a condicionam, para obter um bom produto final estável e maturado são (Handreck e Black, 1999; Barker, 1997; Gonçalves, 2005):

- Razão C/N (carbono:azoto): o equilíbrio desta razão deve ser mantido visto que há diversas perdas de azoto e de carbono durante a compostagem. Os resíduos lenhosos ou vegetais contêm uma razão C/N elevada devido à celulose, lenhina e outras moléculas (Handreck e Black, 1999; Barker, 1997; Cáceres *et al.*, 2016), que tornam a decomposição mais lenta. Resíduos orgânicos com origens em estrumes têm muito azoto comparado com o carbono devido à presença de aminoácidos e proteínas;
- Elementos vestigiais: depende muito do tempo de maturação e do tipo de material de origem. Durante a compostagem as concentrações destes elementos podem aumentar devido à perda de carbono (Barker, 1997);
- Teor de humidade: importante essencialmente para a atividade dos microrganismos, visto que a humidades baixas a decomposição é mais lenta. Segundo Gonçalves (2005) as misturas de materiais como estrumes e serradura, não são só importantes para equilibrar a razão C/N mas também para evitar excesso de humidade;
- Oxigênio: é essencial para a atividade microbiana, sendo por isso essencial para uma decomposição mais acelerada. Segundo Handreck e Black (1999) o valor mínimo de

oxigénio das pilhas é de 16% em volume de material e segundo Gonçalves (2005) o valor deve estar, preferencialmente, acima de 10%;

- pH: começa por ser ácido devido à seiva das plantas nos materiais, e progressivamente aumenta o pH devido ao processo de amonificação; os microrganismos consomem o ião amónio (NH_4^+) produzindo iões hidrogénio e diminuindo o pH até estabilizar (Barker, 1997; Handreck e Black, 1999; Cáceres *et al.*, 2016). Em condições muito ácidas há produção de ácidos orgânicos que são tóxicos para as plantas (Zucconi *et al.*, 1981);
- Temperatura: preferencialmente mantida entre os 50 °C e os 65 °C (Handreck e Black, 1999; Gonçalves, 2005). A temperaturas superiores os microrganismos responsáveis pela decomposição tornam-se menos disponíveis. A temperaturas inferiores pode haver dificuldades em eliminar agentes patogénicos (Landies *et al.*, 2014). Revolver o composto ajuda a manter a temperatura constante, visto que esta tende a aumentar devido à atividade microbiana e às reações químicas de libertação de nutrientes;
- Microrganismos: Os fungos, as bactérias, actinomicetas, entre outros têm papéis importantes na transformação e decomposição dos materiais, dependendo da temperatura a que cada microrganismo se adapta melhor, de maneira a que apenas os materiais inertes e inorgânicos não tenham sido transformados.

O armazenamento do composto é importante na medida em que a compostagem continuará se as condições de humidade e de temperatura continuarem. Handreck e Black (1999) apontam que o teor de humidade deve ser inferior a 30-40% e coberto, para evitar perda de volume e peso, condições de anaerobiose, redução do pH e conseqüentemente a uma criação de ácidos orgânicos.

Os efeitos principais da compostagem no material final, segundo Barker (1997) são a redução de volume de materiais, eliminação patogénicos de plantas e de animais, redução da concentração de carbono, aumento da concentração de nutrientes para plantas e destruição de componentes orgânicos considerados perigosos para o ambiente, incluindo herbicidas.

2.2.2.2. Diferentes tipos de composto e os seus usos como substratos

Como foi referido, os compostos podem ter como base uma série de diferentes materiais. Handreck e Black (1999) apresentam alguns compostos maturados comuns com algumas das características que os torna distintos:

- Compostos de resíduos sólidos urbanos: fazem bons compostos, embora com teor de boro elevado devido a cola de cartão; devem ser bem maturados antes de uso;

- Compostos de cogumelos: tem pH elevado e teor de sais solúveis elevado; forma fungos à superfície do composto;
- Compostos de biosólidos (lamas): tem níveis de cobre e de zinco elevados que eliminam a necessidade de serem adicionados através de fertilizantes; tem baixo teor de manganês; é sujeito a controlo governamental;
- Compostos de camas de aves: salinidade elevada e toxicidade de ião amónio igualmente elevada.

A maturação de compostos é importante na medida em que dependendo do uso pretendido, os compostos não devem ser tóxicos. O uso para substrato é dos que mais necessita de cuidados de manutenção e de uma maturação prolongada, enquanto que o uso para *mulch* (cobertura do solo) é dos usos menos exigentes em maturação (Handreck e Black, 1999; Barker, 1997).

Um composto estável e maturado é um em que a maioria das moléculas orgânicas está decomposta (Handreck e Black, 1999). Não deve emanar odores desagradáveis, não deve ser tóxico (salinidade, alcalinidade, materiais perigosos, entre outros), deve ser comparável à turfa em custo, deve ser de qualidade e de confiança, ter uma proporção de azoto solúvel elevada na forma de nitrato em vez de formas de amónio, ter CTC elevada e invariável (cerca de 45-85 meq/100 g), um teor de matéria orgânica elevada, uma atividade microbiológica mais baixa, bem como taxas de respiração baixas, uma relação desejável de C/N entre 15/1 e 20/1, e uma capacidade baixa de sobreaquecimento (Handreck e Black, 1999; Sterrett, 2005; Moore, 2005; Jarvis *et al.*, 1996).

Normalmente, os materiais decompostos têm menos impactos desfavoráveis no ambiente do que as matérias-primas (Barker, 1997). O composto maturado atua como um fertilizante de libertação lenta independentemente do material decomposto ou do substrato, contendo alguns nutrientes essenciais às plantas e uma CTC potencialmente elevada (Kraus e Warren, 2000; Handreck e Black, 1999), visto que depois de uma incorporação no solo, por exemplo, um composto pode libertar de 10 a 30% dos níveis de azoto ao longo do crescimento das plantas (Barker, 1997). Esta é uma das vantagens que o composto tem sobre a turfa.

No entanto, estudos comprovaram que é necessário fazer-se ajustes na gestão de água quando se utilizam compostos orgânicos (Sterrett, 2005). Ribeiro *et al.* (2007) afirmam que o uso de composto como substrato pode causar alguns problemas como consequência da sua salinidade elevada, propriedades físicas instáveis e composição e qualidade variáveis. A salinidade elevada deve-se essencialmente à mineralização extensiva de substratos orgânicos, podendo chegar às vezes a 10 dS/m em determinações de condutividade elétrica, levando à necessidade de testes de qualidade de compostos (Barker, 1997). O pH é também relativamente elevado na maior parte dos compostos, desde 7,5 (Barker, 1997). Handreck e

Black (1999) indicam que as precauções a ter no uso de composto como substrato ou em misturas para vaso são: existência de agentes patogénicos resistentes à decomposição ou de compostos imaturos, propágulos de infestantes, taxa de perda de azoto facilmente disponível para as plantas elevada, pH elevado, concentrações de amoníaco elevadas, alta salinidade e redução de volume devido à decomposição rápida de materiais lenhosos.

Um estudo importante levado a cabo por Moore (2005) testou os vários tipos de respostas que se podem obter das plantas quando é adicionado ao substrato diferentes percentagens de composto de resíduos urbanos:

- sem resposta (linha de resposta constante);
- *plateau* (crescimento inicial linear a percentagens baixas de composto, mas a partir de 30% de concentração de composto é constante);
- aumento linear (crescimento aumenta linearmente com a percentagem de composto adicionada);
- curva de sino (crescimento aumenta linearmente até aos 60% de composto, mas depois segue-se um declínio);
- declínio (crescimento da planta é menor com o aumento de percentagem de composto).

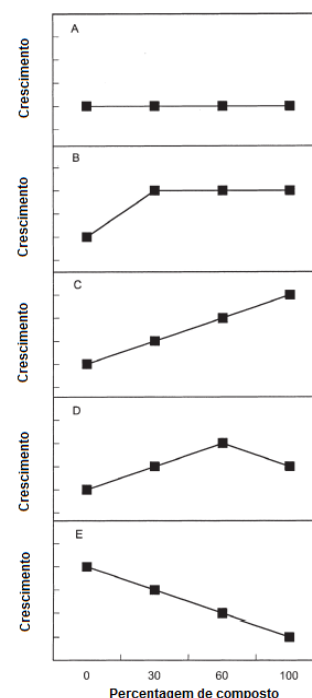


Figura 4 - Cinco respostas diferentes das plantas ao aumento de percentagens de composto à base de resíduos urbanos num substrato: A- sem resposta; B- plateau; C- aumento linear; D- curva de sino; E- declínio (adaptado de Moore, 2005).

2.2.3. Casca de pinheiro

Em Portugal, em Maio de 2017 o pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*) ocupava uma área de cerca de 1 083 372 hectares em florestas (Caetano *et al.*, 2017). Já o pinheiro-manso (*Pinus pinea*) ocupava no mesmo período uma área de cerca de 5 064 hectares em sistemas agro-florestais e de 197 325 hectares em florestas (Caetano *et al.*, 2017). Devido a incêndios que têm ocorrido nos últimos anos no nosso país e a uma grande perda de área florestal que ocorreu no Verão de 2017 ainda não há dados precisos sobre as áreas mais recentes de Pinheiro-bravo e de Pinheiro-manso.

Não obstante, o pinheiro-bravo é essencialmente usado para a produção de madeira, já o pinheiro-manso é usado principalmente para a produção da pinha, mas também para

madeira e para extração de resina (Nunes *et al.*, 1999). O uso de casca de pinheiro como fonte de energia renovável é igualmente promissor (Bilderback *et al.*, 2013).

A casca é um subproduto de indústrias transformadoras que trabalham com espécies florestais e consideram-na um mero resíduo. Mas ultimamente, um dos possíveis usos de resíduos de indústrias é a formulação de substratos para produzir plantas envasadas (Cunha-Queda *et al.*, 2007). A investigação de casca de pinheiro como substrato tem sido feita em diversos países, por exemplo, na África do Sul iniciada em 1980 (Holcroft e Laing, 1995) e nos Estados Unidos da América (Landis *et al.*, 2014), como resposta ao elevado custo da turfa importada, tornando-se um dos principais componentes da maior parte dos substratos. Visto a casca tratar-se de um resíduo, é bom pensar-se em maneiras de a reaproveitar da maneira mais conveniente, mesmo que necessitem de compostagem por ter pH muito ácido, compostos tóxicos e razão C/N muito elevada. A anatomia e a composição da casca foram estudadas mais ao pormenor por Nunes *et al.* (1999).

Para servir de substrato ou ser componente de misturas, a casca deve passar por alguns procedimentos que a permitam usar a para este fim. Normalmente estes procedimentos implicam uma trituração da casca para 2-3 cm de tamanho de partículas (Brito e Mourão, 2012), 5 meses de envelhecimento, segundo Handreck e Black (1999) e uma compostagem posterior de normalmente 4 a 5 meses, segundo Brito e Mourão (2012). O envelhecimento consiste em empilhar cascas humedecidas e revolver durante 2 a 4 semanas (Handreck e Black, 1999). Há sempre uma hipótese de usar apenas casca envelhecida, mas esta tem menos matéria orgânica, mais imobilização do azoto e é mais difícil de manusear do que a casca composta (Handreck e Black, 1999). Estes passos são importantes, como já vimos, para evitar compostos fitotóxicos como taninos, resinas, fenóis e terpenos, presença de agentes patogénicos, imobilização de azoto, sobre-aquecimento do substrato, sementes de infestantes e para estabilizar o pH (Brito e Mourão, 2012; Handreck e Black, 1999). Segundo Handreck e Black (1999) um tempo excessivo de compostagem leva ao amolecimento das partículas e ao aumento de número de partículas mais pequenas que pode provocar compactação e diminuição da porosidade na colocação do composto em vasos.

Dos trabalhos que já estudaram o composto de casca como substrato e como componente de misturas, concluíram que a casca tem as seguintes propriedades:

- arejamento elevado (Naasz *et al.*, 2005);
- porosidade total elevada (Hicklenton *et al.*, 2001);
- capacidade de retenção de água variável com o tamanho das partículas (de 60 a 75%, havendo uma diminuição de retenção de água de 35% entre tensões de 1kPa e de 10kPa) (Brito e Mourão, 2012; Naasz *et al.*, 2005);
- boa drenagem (Brito e Mourão, 2012; Bilderback *et al.*, 2013);

- CTC elevada (cerca de 50-55 meq/100 g) (Brito e Mourão, 2012);
- pH ácido a neutro (3-5 ou 4,5-7, dependendo dos autores) (Brito e Mourão, 2012; Handreck e Black, 1999);
- bio-adsorvente de metais pesados como chumbo e cobre no solo, especialmente a casca de pinheiro-bravo (Cutillas-Barreiro *et al.*, 2014);
- impede a imobilização de azoto (Barragry e Morgan (1978) *cit. in* Sterrett, 2005);
- pouco poder tampão (Bilderback *et al.*, 2013);
- não contribui muito para sais solúveis no substrato (Hicklenton *et al.*, 2001);
- colonizados por microrganismos que ajudam no controlo de nematodes e outros agentes patogénicos (Landis *et al.*, 2014).

Em termos comparativos, a casca de pinheiro foi vista como bom material para substituir a turfa, especialmente nas propriedades físicas (Bilderback *et al.*, 2013; Naasz *et al.*, 2005; Brito e Mourão, 2012; Ribeiro 2016). O composto de casca também poderá vir a ser um bom corretivo orgânico para aumentar a porosidade do solo ou do substrato, com casos de sucesso.

No entanto, normalmente aconselha-se a fazer testes a lotes de composto de casca de pinheiro antes do seu uso, especialmente ao pH, à toxicidade, ao teor de iões amónio e por vezes à salinidade.

2.2.4. Lamas de ETAR

As Lamas de ETAR são resíduos de natureza orgânica que resultam do tratamento de águas residuais, domésticas ou da atividade agropecuária, em estações de tratamento próprias, designadas por estações de tratamento de águas residuais (ETAR) (Costa e Ferreira, 2002). Segundo Gonçalves (2005) lamas de ETAR são um subproduto do processo de depuração das águas residuais urbanas que afluem às redes de saneamento municipais, águas essas que apresentam elevados níveis de sólidos suspensos, de carência bioquímica de oxigénio e de microrganismos de origem fecal, eventualmente patogénicos.

Em Portugal e na Europa as lamas são um resíduo orgânico de relevância, visto que a nível Europeu a produção de lamas é duas vezes superior à de resíduos sólidos urbanos e Portugal produziu cerca de 250 000 toneladas em 1998 (Gonçalves, 2005). No entanto, devido à presença de agentes nocivos e/ou estranhos, ter um excesso de humidade, libertar odores desagradáveis, ser um produto pouco estável e conter microrganismos de origem fecal, as lamas necessitam de um tratamento para poderem ser usadas. Esse tratamento mecânico, biológico e químico reflete a composição química das lamas antes de tratadas (Kosobucki *et*

al., 2000) e das técnicas de tratamento. Existem metodologias alternativas para as principais operações a levar a cabo: a estabilização, a redução de volume ou espessamento e a desidratação (Gonçalves, 2005; Costa e Ferreira, 2002). Segundo Ignatowicz (2017) o tratamento passa pelas operações de estabilização aeróbica e anaeróbica e posteriormente uma desidratação para atingir um produto com 20-30% de matéria seca. Quando estes tratamentos não são suficientes para um bom produto final, pode ser necessário fazer uma compostagem posterior das lamas.

Segundo Gonçalves (2005) a estabilização consiste num arejamento prolongado das lamas, geralmente entre duas a sete semanas, para criar as condições necessárias para os microrganismos aeróbicos que decompõem a fração facilmente biodegradável da matéria orgânica. A estabilização por via anaeróbica geralmente é feita em digestores. Neles se criam condições para a atuação de microrganismos anaeróbicos, com temperatura na ordem dos 35°C durante duas semanas, obtendo um produto com uma valorização energética e produção de metano. O teor de matéria orgânica poderá reduzir-se de 35% ou 50% durante o tratamento aeróbico e anaeróbico, respetivamente. Ainda se pode considerar a estabilização química que é efetuada através da adição de hidróxido de cálcio que aumenta o pH e causa uma inativação temporária dos microrganismos. O objetivo é para reduzir os maus cheiros.

Embora a estabilização seja um passo mais complexo, as operações de desidratação e espessamento ou redução de volume são igualmente importantes para o controlo da humidade e dos odores desagradáveis. A compostagem de lamas, por razões de sanidade e higiene, é essencial para o controlo de agentes patogénicos e de elementos tóxicos a uma temperatura mantida entre os 50 e os 60°C (Costa e Ferreira, 2002) durante 60-70 dias (Ignatowicz, 2017). No entanto, as lamas são ricas em azoto, e como tal poderá ser necessário adicionar materiais com razão C/N elevada ou um teor de carbono elevado para equilibrar o processo de compostagem (Barker, 1997; Kala *et al.*, 2009). Como uma compostagem normal, é importante controlar as condições de temperatura, humidade e de oxigénio. Na verdade, segundo Gonçalves (2005) existem quatro operações que podem ser efetuadas para a desinfeção de lamas:

- Pasteurização, que consiste na submissão das lamas a temperaturas da ordem dos 70°C, durante 30 minutos, seguindo-se o tratamento por digestão anaeróbica a 35°C, durante 12 dias;
- Tratamento biológico termófilo aeróbico ou anaeróbico, à temperatura mínima de 55°C ou 53°C, respetivamente, durante 20 horas, não ocorrendo, durante este período de tempo, operações de admissão ou remoção de lamas no lote em tratamento;
- Incorporação de hidróxido de cálcio de forma a se atingirem valores de pH superior a 12, mantendo as lamas à temperatura mínimas de 55°C, durante duas horas ou

mantendo-as a valores de ph superiores a 12 durante três meses, independentemente das temperaturas;

- Compostagem.

Alguns valores médios analisados pelo LQARS (Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva) de 1999 a 2004 citados em Gonçalves (2005) para a matéria seca de lamas de ETAR foram os seguintes:

- Teor de humidade 77%;
- pH 7,7;
- Condutividade Elétrica 1,9 mS cm⁻¹;
- Matéria orgânica 60,4%, na matéria seca;
- Azoto total de 4,5% de N, na matéria seca.

Na realidade, muitos estudos provaram que as lamas de ETAR dão excelentes compostos para a produção de plantas, seja por conter nutrientes essenciais às plantas nomeadamente azoto, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e micronutrientes (Ignatowicz, 2017; Yan *et al.*, 2017; McGrath *et al.*, 1995; Costa e Ferreira, 2002; Kala *et al.*, 2009; Moore, 2004; Gonçalves, 2005), matéria orgânica (Ignatowicz, 2017; Gonçalves, 2005; Serrão *et al.*, 2002), CTC elevada (Moore, 2004), pH elevado para corrigir a acidez dos solos ou substratos ácidos (Costa e Ferreira, 2002) e obtêm-se plantas com maior peso seco embora apenas até 30% de composto adicionado (Yan *et al.*, 2017; Moore, 2004).

Mas há uma série de inconvenientes no uso de composto de lamas de ETAR como substrato. Esses inconvenientes podem contar com o pH elevado quando não é desejado (Moore, 2004), condutividade elétrica elevada associada a um elevado número de sais (Moore, 2004; Sterrett, 2005), menos capacidade de retenção de água (Moore, 2004) e a presença de metais pesados (Ignatowicz, 2017; Yan *et al.*, 2017; McGrath *et al.*, 1995; Costa e Ferreira, 2002; Gonçalves 2005). Segundo Hicklenton *et al.* (2001), um substrato com composto de lamas a 100% resulta num crescimento significativamente menor do que a turfa.

Dos elementos designados por metais pesados salientamos o cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco. Alguns são considerados essenciais e benéficos (o cobre e o zinco) para as plantas, mas a razão pela qual têm uma conotação negativa é porque em certas concentrações tornam-se tóxicos. No Quadro 4 estão representados os valores limite de concentrações de metais pesados admissíveis em compostos.

Quadro 4 - Valores limite de metais pesados em matérias fertilizantes dependendo da sua classe de uso em mg/kg (adaptado de Decreto-Lei n.º 103/2015).

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

Alguns estudos também consideram que o Arsénio seja perigoso para o ambiente e possa estar presente nas lamas. Segundo McGrath *et al.* (1995) os metais pesados em lamas de ETAR vêm maioritariamente de fontes industriais, mas que os desperdícios domésticos podem conter quantidades significativas de Zinco e Cobre. Alguns dos elementos podem levar a uma poluição das águas superficiais e subterrâneas por infiltração de metais pesados (Ignatowicz, 2017). E embora a sua presença já seja perigosa, também é importante saber a disponibilidade destes elementos para as plantas quando decompostas. Segundo Ignatowicz (2017) a matéria orgânica é principalmente constituída por organismos, detritos orgânicos apodrecidos e uma camada de partículas minerais, com grande afinidade para metais pesados.

Apesar de tudo, as condições que procuramos num bom composto de lamas de ETAR consiste numa razão C/N na ordem dos 25 a 30 (Gonçalves, 2005), alguns nutrientes essenciais para as plantas na sua composição e uma boa percentagem de matéria orgânica. Para permitir a sua utilização agrícola, as ETARs devem fazer obrigatoriamente análises periódicas das lamas aos metais pesados e microrganismos, normalmente duas vezes por ano (Outono-Inverno e Primavera-Verão) (Costa e Ferreira, 2002). Se a salinidade for elevada, aconselha-se uma lixiviação ou lavagem antes da sementeira (Sterrett, 2005).

Yan *et al.* (2017) ainda propõem o uso de biochar de lamas de ETAR através de um processo de pirólise lenta que estabiliza os metais pesados. Podendo ainda ter a vantagem de baixar o pH, aumentar níveis de carbono e de azoto, de fósforo e de potássio, zinco e cobre, levando ao aumento de matéria seca.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Com o objetivo de formular substratos a partir de um composto, usando doses decrescentes de turfa, suscetível de a substituir, estabeleceu-se o seguinte ensaio.

3.1. Substratos

Na formulação dos substratos avaliados neste trabalho, utilizou-se o composto NATURANAT e uma turfa loira ligeiramente decomposta. Como substrato “testemunha” utilizou-se, ainda, um substrato comercial.

3.1.1. Composto

O NATURANAT é obtido a partir de compostagem de uma mistura de 50% de casca de pinheiro calibrada e 50% de lamas de ETAR, na Estação de Compostagem de Lamas da ETAR da Parada (Parada, Maia), pelos Serviços Municipalizados da Câmara Municipal da Maia.

Trata-se de um produto orgânico, não-inerte e biodegradável, higienizado, sem sementes ou propágulos de infestantes, de Classe de Qualidade IIA, segundo o Decreto-lei 103/2015 de 15 de junho. As características do composto são apresentadas nos Resultados e Discussão (4.1) e correspondem à modalidade 100C. No anexo I apresentam-se outras características do composto.

3.1.2. Turfa

Utilizou-se uma turfa loira ligeiramente decomposta (H₂-H₅ da escala de Von post) de marca Hansa Torf (Floragard Co., Alemanha), ácida e muito pobre em nutrientes. Os valores médios fornecidos pelo fabricante acerca da turfa são: pH 4,2; salinidade 0,2 g/L; N mineral <50 mg/L; P₂O₅ <50 mg/L e K₂O <50 mg/L.

Dado o seu pH baixo, a turfa foi previamente corrigida com calcário dolomítico (8 g por litro de turfa). A turfa foi, ainda, crivada com um crivo a 5 mm. As características da turfa são apresentadas nos Resultados e Discussão (4.1) e correspondem à modalidade 0C.

3.1.3. Substrato Comercial

Como substrato “testemunha” utilizou-se o substrato comercial SIRO STRAT MELHORADO, produzido pela empresa Leal & Soares (Mira), constituído por turfa, húmus SIRO e casca de pinheiro crivada, usado normalmente em viveiros florestais.

As características do substrato comercial são apresentadas nos Resultados e Discussão (4.1) e correspondem à modalidade SC.

3.1.4. Substratos à base de composto

Neste trabalho foram preparados quatro substratos à base de composto, com misturas, em diferentes proporções, de turfa e composto. A proporção em volume das componentes de cada um dos substratos é apresentada no quadro 5. Utilizou-se, ainda, um substrato constituído apenas por turfa (sem composto) e um substrato comercial. Assim, estudaram-se 6 substratos diferentes.

3.2. Ensaio com agrião em placas de Petri – Fitotoxicidade

Foi realizado um teste de germinação seguindo a Norma Europeia EN 16086-2 (Determinação de resposta por parte das plantas a substratos – Parte 2: Teste de placas de petri usando agrião) (CEN, 2011) para avaliar a fitotoxicidade do substrato. Segundo a Norma, este teste, usando sementes de agrião (*Lepidium sativum*) com $\geq 95\%$ de capacidade de germinação serve para detetar uma eventual inibição da germinação das sementes, por parte de substâncias fitotóxicas.

Sob condições da norma preparou-se o volume de substrato para 4 placas de Petri para cada mistura (controlo, 0C, 25C, 50C, 75C, 100C e SC), obtendo-se 28 placas no total. Semearam-se 10 sementes por placas e colocaram-se as placas de Petri na vertical, a 70-80° com o plano horizontal, numa câmara de incubação, no escuro, a 25°C, durante 3 dias. No final desse período avaliou-se a taxa de germinação e o comprimento da raiz que se desenvolveu. Através destes dados determinou-se o índice de vitalidade de Munoo – Liisa (MLV), que segundo a norma tem a seguinte expressão:

$$MLV (\%) = \left(\frac{(GRs1 \cdot RLs1) + (GRs2 \cdot RLs2) + (GRs3 \cdot RLs3) + (GRs4 \cdot RLs4)}{4 \cdot (GRc \cdot RLc)} \right) \cdot 100$$

$GRs1, GRs2, GRs3, GRs4$ são as taxas de germinação, em % das 4 réplicas;

$RLs1, RLs2, RLs3, RLs4$ são o comprimento médio das raízes, em % das 4 réplicas;

GRc é a taxa de germinação, em % das 4 réplicas de controlo;

RLc é o comprimento médio das raízes, em % das 4 réplicas de controlo.

3.3. Ensaio em vasos com couve-chinesa

O desempenho dos substratos foi, também, avaliado através de um ensaio em vasos, utilizado a couve-chinesa (*Brassica napa*, ssp. *Pekinensis*) como planta teste, de acordo com a Norma Europeia EN 16086-1 (Determinação de resposta por parte das plantas a substratos – Parte 1: Teste de crescimento em vasos com couve-chinesa) (CEN, 2011).

3.3.1. Fertilização

No ensaio em vasos estudou-se, ainda, o efeito da fertilização no desempenho dos substratos formulados, tendo-se efetuado, para cada substrato uma modalidade sem fertilização e outra com fertilização (quadro 5), num total de 12 modalidades.

Quadro 5 - Componentes (em % de volume) usados na formulação dos substratos e respetiva fertilização.

Substrato	Composto (% em volume)	Turfa (% em volume)	Fertilização
0C	0	100	Sem fertilização
25C	25	75	Sem fertilização
50C	50	50	Sem fertilização
75C	75	25	Sem fertilização
100C	100	0	Sem fertilização
SC	-	-	Sem fertilização
0C+F	0	100	Com fertilização completa
25C+F	25	75	Com complemento de fertilização
50C+F	50	50	Com complemento de fertilização
75C+F	75	25	Com complemento de fertilização
100C+F	100	0	Com complemento de fertilização
SC+F	-	-	Com fertilização completa

Nas modalidades com fertilização, esta foi estabelecida de acordo com a disponibilidade de nutrientes do substrato:

- Fertilização completa, aplicada aos substratos 0C e SC (com baixa disponibilidade de nutrientes), constituída por todos os nutrientes vegetais e estabelecida na Norma Europeia EN 16086-1 (CEN, 2011) (mg de nutriente por litro de substrato): 196 mg N/L, 48 mg/L P, 235 mg K/L, 120 mg Ca/L, 37 mg Mg/L, 40 mg S/L, 0,84 mg Fe/L, 0,44 mg Mn/L, 0,26 mg Zn/L, 0,27 mg B/L, 0,05 mg Cu/L e 0,05 mg Mo/L.

- Complemento de fertilização – aplicada aos substratos com composto de modo a complementar apenas os nutrientes azoto e potássio, relativamente à fertilização completa (quadro 6). Não se aplicaram outros nutrientes, uma vez que o composto os disponibiliza.

Quadro 6 - Fertilização complementar aplicada aos substratos com composto.

Substrato	Azoto (mg/L substrato)	Potássio (mg/L substrato)
25C+F	113	195
50C+F	0	161
75C+F	0	123
100C+F	0	91

A fertilização foi efetuada com reagentes laboratoriais “para análise”: nitrato de amónio (NH_4NO_3); nitrato de cálcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$); nitrato de potássio (KNO_3); fosfato mono-potássico (KH_2PO_4); sulfato de magnésio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$); nitrato de magnésio ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$); quelato de ferro (Fe-DTPA 7% Fe); sulfato de manganês ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$); sulfato de zinco ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$); borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$); sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) e molibdato de sódio ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$).

Adicionou-se, ainda, 2 g de calcário por Litro de substrato, nos substratos 0C, 25C, 50C, 75C e 100C, uma vez que os substratos apresentam um pH ligeiramente inferior ao pH ideal (ver 4.1.2., quadro 10). Não se adicionou calcário ao substrato SC (substrato comercial), visto que o pH já era ideal.

3.3.2. Instalação e condução do ensaio

O ensaio em vasos foi realizado nas estufas do Horto de Química Agrícola Boaventura de Azevedo do Instituto Superior de Agronomia (ISA) na Tapada da Ajuda, em Lisboa. A Tapada da Ajuda possui um clima mediterrâneo do tipo Csa segundo a classificação climática de Köppen (mesotérmico húmido de verões quentes e secos) (Andrade e Abreu, 2008). Durante esta altura do ano as temperaturas podiam chegar aos 30°C dentro da estufa.

Utilizaram-se vasos com 400 mL de capacidade, cheios com 370 mL e 4 repetições por modalidade, num total de 48 vasos (6 substratos x 2 fertilizações x 4 repetições).

No dia 03 de Maio, semearam-se 12 sementes de couve-chinesa por vaso e colocaram-se os vasos a germinar numa “sala” de crescimento, com temperatura controlada (25°C), durante 2 dias.



Figura 5 - Vasos numa “sala” a temperatura controlada para germinação. (Fonte: Ana Mafalda Costa, Maio de 2017).

Após a germinação, as plantas foram transferidas para a estufa de vidro do Horto e dispostas aleatoriamente sobre as placas metálicas das bancas móveis da estufa (figura 6).



Figura 6 - Vista geral dos vasos dispostos aleatoriamente numa plataforma dentro da estufa e, à direita, pormenor da germinação. (Fonte: Ana Mafalda Costa, Maio de 2017).

As plantas foram regadas diariamente, com água desionizada, em função das suas necessidades.

Dia 17 de Maio de 2017 observou-se a presença das pragas mosquinha branca e piolho, tendo-se efetuado um tratamento fitossanitário com Confidor (substância ativa).

3.3.3. Avaliações efetuadas

De dois em dois dias, até dia 15 de Maio de 2017, contou-se o número de sementes germinadas para o cálculo da percentagem de germinação e para se fazer um levantamento do número de plantas a manter por vaso.



Figura 7 - Comparação de vasos uma semana após germinação, da esquerda para a direita, vaso de 100C, vaso de SC e vaso de 0C+F. (Fonte: Ana Mafalda Costa, Maio de 2017).

No dia 15 de Maio de 2017 reduziu-se o número de plantas de cada vaso para 7, para uniformizar os números.

No dia 26 de Maio as plantas foram cortadas pelo colo e a parte aérea foi pesada determinando-se o peso fresco. Após a pesagem, foram colocadas a 65°C, numa estufa de secagem, durante 3 dias (até peso constante), tendo-se determinado, após secagem, o peso seco a 65°C. Depois de secas, as plantas foram colocadas em sacos individuais para moagem das mesmas, e posterior análise, tendo-se determinado a concentração de macronutrientes, micronutrientes e metais pesados.

Dada a dificuldade em separar as raízes do substrato, optou-se por fazer uma análise “visual” das raízes, utilizando uma escala de classificação de 1 a 5, com base nos vasos apresentados na figura 8. Para tal, foram escolhidos o vaso 22 da modalidade SC como classificação 1; o vaso 7 da modalidade 25C como classificação 3; o vaso 30 da modalidade 25C+F como classificação 4 e o vaso 47 da modalidade SC+F como classificação 5.



Figura 8 - Escala de classificação para a análise “visual” de raízes dos vasos. (Fonte: Ana Mafalda Costa, Maio de 2017).

3.4. Metodologias analíticas

3.4.1. Análises às plantas

As amostras de plantas (secas a 65°C, até peso constante) foram moídas num moinho inox, com um crivo de 1 mm, de marca Cullatti modelo TYP MFC (Cullatti, Berna, Suíça).

O teor de azoto do material vegetal, seco a 65°C e moído, foi determinado pelo método Kjeldahl (Horneck e Miller, 1998). Uma amostra de 0,30 g de material vegetal foi digerida na presença de ácido sulfúrico concentrado (4 mL) e de selénio (catalisador) a 340°C, até obtido um digerido incolor (cerca de 5 horas de digestão). Após a digestão e o arrefecimento da amostra, foi adicionada água até ao volume final de 50 mL. O azoto foi quantificado, neste extrato, num autoanalisador de fluxo segmentado de marca Skalar, modelo SAN_{plus} System (Skalar Analytical B.V., Breda, Holanda), usando o método de Berthelot (Houba *et al.*, 1989).

Os restantes elementos minerais (fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, cobre, zinco, manganês, boro, molibdénio, níquel, cádmio, chumbo e crómio) foram determinados via húmida, após digestão por *aqua regia*, metodologia adaptada da Norma Europeia EN 13650 (CEN, 2001). Uma amostra de 0,25 g foi digerida por 9 mL de HCl (ácido clorídrico) a 37% e 3 mL de ácido nítrico a 65%, a 105% durante 165 minutos. Após a digestão e o arrefecimento da amostra, foi adicionada água até ao volume final de 50 mL. Depois de homogeneizar e decantar, retirou-se 10 mL de sobrenadante e quantificou-se os elementos por Espectrofotometria de Emissão Ótica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), num ICP-OES de marca Unicam (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachuset, Estados Unidos).

3.4.2. Análises aos substratos

A caracterização física dos substratos iniciou-se com a determinação da densidade aparente segundo a Norma Europeia EN 13040 (CEN, 1999a). As propriedades físicas porosidade total, retenção de água, arejamento e contrabilidade foram determinadas, adaptando a Norma Europeia EN 13041 (CEN, 2011) e a metodologia descrita por Verdonck e Gabriels (1992). As amostras de substrato preenchendo cilindros com um volume de 100 cm³, foram colocadas numa “caixa de areia” (Eijkelkamp Soil & Water, Giesbeek, Holanda) e sujeitas às sucções de 10 cm de altura de coluna de água (pF1 ou -1 kPa), 50 cm de coluna de água (pF1,7 ou -5kPa) e 100 cm de coluna de água (pF2 ou -10 kPa), durante 48 horas, até se atingir o equilíbrio; sendo pesadas no final de cada ciclo. Após o equilíbrio a pF2, as amostras foram secas a 100-105°C durante 48 horas.

Partindo dos valores de retenção de água às diferentes sucções (pF1, pF1,7 e pF2) foi possível calcular a água facilmente disponível, a água de reserva, e a água disponível e o arejamento a pF1, de acordo com as definições apresentadas na revisão bibliográfica.

O pH e a condutividade elétrica foram determinados no extrato aquoso 1:5 em volume, de acordo com as Normas Europeias EN 13037 (CEN, 1999b) e EN 13038 (CEN, 1999c), respetivamente. Os macronutrientes extraíveis (N, P, K, Ca e Mg), o sódio extraível (Na), os cloretos extraíveis (Cl) e os micronutrientes extraíveis (Fe, Cu, Zn, Mn e B) foram determinados no extrato aquoso 1:5 (v v⁻¹), de acordo com a Norma Europeia EN 13652 (CEN, 2001b). Resumidamente, a partir do valor da massa volúmica aparente pôde-se determinar o peso correspondente ao volume 40 mL, para cada substrato. Esta quantidade foi colocada num frasco de plástico com 200 mL de água e, num agitador mecânico, agitou-se durante uma hora. Decorrido este período, efetuou-se a leitura do pH e, depois de filtração, da condutividade elétrica e a quantificação:

- N-NO_3^- , por espectrofotometria de absorção molecular, utilizando o método de sulfanilamida (Houba, *et al.*, 1989), num autoanalisador de fluxo segmentado de marca Skalar, modelo SAN_{plus} System (Skalar Analytical B.V., Breda, Holanda);

- N-NH_4^+ , por espectrofotometria de absorção molecular, utilizando o método de Berthold (Houba, *et al.*, 1989), num autoanalisador de fluxo segmentado de marca Skalar, modelo SAN_{plus} System (Skalar Analytical B.V., Breda, Holanda);

- P, K, Ca, Mg e Na, Fe, Cu, Zn, Mn e B por Espectrofotometria de Emissão Ótica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), num ICP-OES de marca Unicam (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachuset, Estados Unidos);

- Cloretos pelo método Mohr, através de uma titulação por nitrato de prata (AgNO_3), usando cromato de potássio a 5% como indicador.

A determinação da matéria orgânica foi feita através do uso de cadinhos e do peso de substrato húmido, cerca de 5 g, em quatro repetições para cada mistura. Seguido da colocação dos mesmos durante uma noite a 105°C, determinando a percentagem de matéria seca. Colocou-se, posteriormente, os cadinhos numa mufla a 550°C até ao dia seguinte para a determinação da percentagem de cinzas, por outras palavras, matéria inorgânica. A matéria orgânica é a razão entre a diferença de pesos entre 105°C e 550°C com o peso seco a 105°C.

3.5. Tratamento estatístico

Os dados obtidos foram sujeitos a uma análise de variância (ANOVA) com comparação de médias pelo método da diferença mínima significativa (LSD na sigla em inglês) através do programa informático Statistix 9.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características dos substratos

4.1.1. Propriedades físicas

As propriedades físicas dos substratos estudados são apresentadas nos quadros 7, 8 e 9.

A massa volúmica aparente (quadro 7) dos substratos foi tanto maior quanto maior foi a percentagem de composto no substrato e este aumento está relacionado com uma diminuição de porosidade total, como referido por Bunt (1983). No entanto, todos os substratos apresentaram uma porosidade total superior a 85%, valor mínimo sugerido por De Boodt e Verdonck (1972) para um substrato de cultivo.

Quadro 7 - Massa volúmica aparente (g dm^{-3}), porosidade total (% v v^{-1}) e contrabilidade (%) dos substratos em estudo.

Substrato	Massa volúmica aparente (g dm^{-3})	Porosidade total (% v v^{-1})	Contrabilidade (%)
0C	138,32 <i>f</i>	91,41 <i>a</i>	29,72 <i>a</i>
25C	171,70 <i>e</i>	89,38 <i>b</i>	25,41 <i>b</i>
50C	198,45 <i>c</i>	87,77 <i>d</i>	19,94 <i>c</i>
75C	222,68 <i>b</i>	86,28 <i>e</i>	19,98 <i>c</i>
100C	241,88 <i>a</i>	85,13 <i>f</i>	14,12 <i>d</i>
SC	184,68 <i>d</i>	88,70 <i>c</i>	18,39 <i>c</i>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

A adição de composto levou, ainda, a uma diminuição da contrabilidade do substrato (quadro 7), isto é, da redução do seu volume que ocorre durante o processo de perda de água. Na figura 9 observam-se os cilindros de teste às propriedades físicas, comparado a perda de volume entre os substratos 0C (turfa) e 100C (composto a 100%), após secagem.



Figura 9 - Cilindros de determinação de propriedades físicas comparando a perda de volume após secagem no substrato 0C (número 3) e no substrato 100C (número 18) depois de sujeitos a 105°C. (Fonte: Ana Mafalda Costa, Maio de 2017.)

Relativamente à retenção de água (quadro 8), a turfa foi o substrato que apresentou uma maior retenção a pF1,0 e pF1,7 e o aumento da percentagem de composto no substrato provocou uma diminuição significativa da retenção. Pelo contrário, a retenção a pF2 (corresponde à água dificilmente disponível) aumenta com o aumento da percentagem de composto no substrato.

Quadro 8 - Retenção de água (% $v v^{-1}$) a pF1, pF1,7 e pF2.

Substrato	Retenção de água (% $v v^{-1}$)		
	pF1	pF1,7	pF2
0C	78,78 <i>a</i>	43,11 <i>a</i>	36,90 <i>bc</i>
25C	67,84 <i>b</i>	41,57 <i>b</i>	36,60 <i>c</i>
50C	58,43 <i>c</i>	40,95 <i>bc</i>	37,65 <i>b</i>
75C	53,92 <i>d</i>	40,66 <i>c</i>	38,80 <i>a</i>
100C	50,81 <i>e</i>	40,73 <i>bc</i>	39,57 <i>a</i>
SC	57,31 <i>c</i>	40,68 <i>bc</i>	36,64 <i>c</i>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

Relativamente à disponibilidade de água para as plantas (quadro 9), observou-se uma descida sigificativa de água facilmente disponível (AFD), da água de reserva (AR) e, conseqüentemente da água disponível (AD), à medida que a quantidade de composto aumentou no substrato. Para um substrato de cultivo, considera-se que as gamas de valores adequados de AFD e AR são, respetivamente 20 a 30% e 4 a 10% (De Boodt e Verdonck,

1972; Abad *et al.*, 2001). Assim, verificou-se que o substrato contendo 25% de composto (25C) apresentou valores de retenção de água dentro da gama ideal e que o substrato 50C apresentou valores muito próximos dessa gama e semelhantes ao substrato comercial (quadro 9).

Relativamente ao arejamento (a pF1), a turfa apresentou um valor relativamente baixo (12,6 %), inferior aos valores de 20 a 30% recomendados para substratos (De Boedt e Verdonck, 1972; Abad *et al.*, 2001). A adição de composto à turfa teve um efeito muito positivo, pois aumentou de forma significativa o arejamento dos substratos obtidos. Os substratos contendo 25 a 50% de composto (25C e 50C) apresentaram valores de arejamento dentro da gama ideal.

Quadro 9 - Arejamento a pF1 (% v v⁻¹), água facilmente disponível (AFD), água de reserva (AR) e água disponível (AD) (% v v⁻¹).

Substrato	Arejamento a pF1 (%, v v ⁻¹)	AFD (%, v v ⁻¹)	AR (%, v v ⁻¹)	AD (%, v v ⁻¹)
0C	12,63 e	35,66 a	6,22 a	41,88 a
25C	21,53 d	26,28 b	4,97 b	31,24 b
50C	29,33 c	17,48 c	3,30 d	20,78 c
75C	32,36 b	13,26 d	1,86 e	15,12 d
100C	34,32 a	10,08 e	1,16 f	11,24 e
SC	31,39 b	16,63 c	4,04 c	20,67 c

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

4.1.2. Propriedades químicas

As propriedades químicas dos substratos estudados são apresentadas nos quadros 10 a 13.

O pH dos substratos utilizados foi, de um modo geral, baixo. No caso da turfa foi feita uma correção com 8 g de calcário por litro de turfa (referido em 3.1.3) que elevou o pH para um valor considerado adequado para um substrato orgânico (5,0 a 6,5). No caso do composto o valor baixo de pH pode ser devido ao processo de compostagem ou ao pós-compostagem, como por exemplo, deixar o composto em condições anaeróbicas, baixando o pH, referidos em 2.2.2.1 (Handreck e Black, 1999). Também pode ser uma influência por parte da casca de pinheiro que normalmente tem o pH baixo.

Relativamente à condutividade elétrica (quadro 10), verifica-se que a turfa e o substrato comercial apresentam valores relativamente baixos, indicando uma baixa disponibilidade de nutrientes. Landis *et al.*, (2014) afirmam que alguns produtores podem preferir um substrato com menos condutividade elétrica e menos disponibilidade de nutrientes

para poderem gerir a fertilização como desejarem. A adição de composto à turfa originou um aumento significativo de CE, observando-se que os substratos 50C e 75C apresentaram valores de CE dentro da gama considerada adequada por Warncke e Krauskopf (1983) para espécies não sensíveis à salinidade (0,35 a 0,65 mS cm⁻¹ no extrato aquoso 1:5, v v⁻¹).

Quadro 10 - pH e condutividade elétrica (mS cm⁻¹) dos substratos no extrato aquoso 1:5 (v v⁻¹).

Substrato	pH	Condutividade elétrica (mS cm ⁻¹)
0C	5,40 <i>b</i>	0,11 <i>e</i>
25C	4,84 <i>c</i>	0,29 <i>d</i>
50C	4,61 <i>d</i>	0,46 <i>c</i>
75C	4,46 <i>e</i>	0,62 <i>b</i>
100C	4,26 <i>f</i>	0,79 <i>a</i>
SC	5,95 <i>a</i>	0,07 <i>f</i>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

Os teores de nutrientes extraíveis nos substratos e os valores considerados adequados são apresentados nos quadros 11, 12 e 13.

Relativamente ao azoto, verifica-se que a turfa e o substrato comercial apresentam valores inferiores aos considerados adequados. O substrato 100C apresenta um valor ligeiramente acima da gama de valores recomendados para transplante, mas os restantes substratos encontram-se dentro da gama de valores adequados. É de destacar que quanto maior a percentagem de composto adicionada à turfa, maior o teor de azoto mineral no substrato.

Quadro 11 - Teores de azoto nítrico (N-NO₃⁻), azoto amoniacal (N-NH₄⁺) e azoto mineral nos substratos (mg L⁻¹) no extrato aquoso 1:5 (v v⁻¹).

Substrato	N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	N mineral (mg L ⁻¹)
0C	30,02 <i>e</i>	1,62 <i>f</i>	31,64 <i>f</i>
25C	78,96 <i>d</i>	36,12 <i>d</i>	115,08 <i>d</i>
50C	144,1 <i>c</i>	82,4 <i>c</i>	226,50 <i>c</i>
75C	190,77 <i>b</i>	120,26 <i>b</i>	311,03 <i>b</i>
100C	254,89 <i>a</i>	145,15 <i>a</i>	399,65 <i>a</i>
SC	2,89 <i>f</i>	7,74 <i>e</i>	10,56 <i>f</i>
Recom.* sementeiras	50 - 200	< 75	
Recom.* transplante	100 - 250	< 125	

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

* Valores recomendados, adaptados de Ansorena-Miner (1994).

Relativamente ao fósforo, todos os substratos apresentam valores relativamente elevados, acima da gama de valores adequados para sementeira e transplante. A turfa apresenta os valores mais baixos deste elemento, inferior ao considerado adequado. Apenas o substrato comercial apresenta valores dentro da gama de valores recomendados.

Todos os substratos, excetuando a turfa, apresentam teores de potássio dentro da gama de valores recomendados. No entanto, os substratos 25C, 50C e o substrato comercial apresentam valores inferiores aos recomendados para transplante.

Relativamente ao cálcio, apenas os substratos 75C e 100C apresentam valores adequados, destacando o valor bastante inferior ao recomendado do substrato comercial. Relativamente ao magnésio, todos os substratos apresentam valores dentro da gama de valores recomendados, excetuando o substrato comercial, como se verifica no teor extraível de cálcio.

Relativamente ao sódio, a maioria dos substratos apresentam valores dentro da gama adequada, excetuando o substrato 100C (100% de composto) que apresenta um valor ligeiramente superior ao recomendado para substratos de cultivo. Este resultado evidencia uma concentração de sais no composto e auxilia o valor da condutividade elétrica (quadro 10).

De um modo geral, verifica-se que o aumento da percentagem de composto adicionado à turfa proporciona uma maior disponibilidade de nutrientes no substrato de cultivo. O substrato comercial apresenta os teores mais baixos de cálcio, de magnésio e de enxofre, a turfa apresenta os teores mais baixos de fósforo, potássio e sódio.

Quadro 12 - Teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e sódio (Na) nos substratos (mg L⁻¹), no extrato aquoso 1:5 (v v⁻¹).

Substrato	P (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Ca (mg L ⁻¹)	Mg (mg L ⁻¹)	S (mg L ⁻¹)	Na (mg L ⁻¹)
0C	6,01 <i>f</i>	20,94 <i>f</i>	58,58 <i>e</i>	19,89 <i>e</i>	19,05 <i>e</i>	9,66 <i>f</i>
25C	118,65 <i>d</i>	60,49 <i>e</i>	120,74 <i>d</i>	39,93 <i>d</i>	40,97 <i>d</i>	23,31 <i>e</i>
50C	191,51 <i>c</i>	95,06 <i>c</i>	162,13 <i>c</i>	50,33 <i>c</i>	54,74 <i>c</i>	34,27 <i>c</i>
75C	284,01 <i>b</i>	132,91 <i>b</i>	219,79 <i>b</i>	62,36 <i>b</i>	74,47 <i>b</i>	47,78 <i>b</i>
100C	358,01 <i>a</i>	164,91 <i>a</i>	293,18 <i>a</i>	73,69 <i>a</i>	87,53 <i>a</i>	58,62 <i>a</i>
SC	43,31 <i>e</i>	77,48 <i>d</i>	8,91 <i>f</i>	1,11 <i>f</i>	3,34 <i>f</i>	26,20 <i>d</i>
Recom.* sementeiras	19 – 55	51 – 250	> 200	16 – 85	-	<50
Recom.* transplante	29 - 100	101 - 650	> 200	16 - 150	-	<50

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

* Valores recomendados, adaptados de Ansorena-Miner (1994).

Relativamente aos micronutrientes (quadro 13), verifica-se um aumento de teores com o aumento de composto adicionado à turfa. O substrato 100C apresenta valores relativamente

elevados comparando com o substrato comercial e a turfa, com exceção do ferro. A turfa pode ter vindo a influenciar o teor de ferro extraível no substrato 25C, visto que a turfa apresentou os valores mais elevados deste elemento.

Quadro 13 - Teores de ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), e boro (B) nos substratos (mg L⁻¹), no extrato aquoso 1:5 (v v⁻¹).

Substrato	Fe (mg L ⁻¹)	Zn (mg L ⁻¹)	Cu (mg L ⁻¹)	Mn (mg L ⁻¹)	B (mg L ⁻¹)
0C	0,49 <i>ab</i>	0,05 <i>e</i>	0,02 <i>a</i>	0,07 <i>e</i>	0,07 <i>c</i>
25C	0,44 <i>ab</i>	0,33 <i>d</i>	<i>n.d.</i>	0,30 <i>d</i>	0,08 <i>bc</i>
50C	0,35 <i>bc</i>	0,78 <i>c</i>	0,02 <i>ab</i>	0,61 <i>c</i>	0,12 <i>b</i>
75C	0,59 <i>a</i>	1,61 <i>b</i>	0,02 <i>ab</i>	1,11 <i>b</i>	0,16 <i>a</i>
100C	0,38 <i>bc</i>	3,15 <i>a</i>	<i>n.d.</i>	1,92 <i>a</i>	0,18 <i>a</i>
SC	0,21 <i>c</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	0,01 <i>e</i>	0,09 <i>bc</i>

**n.d.* – não detetável

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

4.1.3. Fitotoxicidade

Com o objetivo de avaliar um potencial efeito fitotóxico dos substratos formulados com composto, foi efetuado um ensaio de germinação e crescimento radicular com sementes de agrião (*Lepidium sativum*), adaptado da Norma Europeia EN 16086-2 (CEN, 2011).

Os substratos testados não afetaram a germinação das sementes, tendo a percentagem de germinação sido de 100% em todos os substratos (quadro 14). Quanto ao crescimento radicular, observou-se que nos substratos 25C, 50C e 75C o crescimento radicular foi igual ou superior à modalidade controlo, tendo-se observado um decréscimo apenas na modalidade 100C. Considerando o índice MLV verificou-se, também, que à exceção do substrato 100C, os restantes substratos contendo composto tiveram um desempenho igual ou superior à modalidade controlo.

Quadro 14 - Valores médios de germinação (%), do comprimento de raízes (cm) e valores do Índice de Vitalidade de Munoo-Liisa (MLV, %) dos substratos.

Substrato	Germinação (%)	Comprimento de raízes (cm)	MLV (%)
Controlo (0C fertilizada)	100	5,32 <i>c</i>	100,00 <i>c</i>
0C	100	5,56 <i>bc</i>	104,48 <i>bc</i>
25C	100	5,86 <i>b</i>	109,98 <i>b</i>
50C	100	5,67 <i>bc</i>	106,55 <i>bc</i>
75C	100	5,33 <i>c</i>	100,12 <i>c</i>
100C	100	4,79 <i>d</i>	89,97 <i>d</i>
SC	100	7,77 <i>a</i>	145,86 <i>a</i>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

Relativamente ao ensaio de germinação é ainda de destacar o desempenho do substrato comercial, significativamente superior ao dos restantes substratos. Este facto pareceu estar relacionado com a menor tendência para a compactação deste substrato, dentro das caixas de Petri. De facto, durante o teste, as caixas de Petri são colocadas na vertical, havendo uma natural compactação do substrato, que pareceu mais intensa na turfa (crivada a 5 mm) e nos substratos contendo composto. Esta maior compactação parece ter dificultado a penetração das raízes destes substratos, quando comparado com o substrato comercial. Na figura 10 observa-se que, após se retirar a tampa da caixa de Petri, as raízes adquirem uma conformação que parece evidenciar dificuldades na penetração da raiz no substrato, obrigando as mesmas a forçar a tampa da placa de Petri.



Figura 10 - Placa de Petri 5B (à esquerda) e placa de Petri 6A (à direita), correspondendo aos substratos 75C e 100C, respetivamente (Fonte: Ana Mafalda Costa, Abril de 2017).

Em termos gerais, até 75% de composto no substrato, a germinação das sementes de agrião não foi afetada.

4.2. Ensaio de crescimento em vasos

Para avaliar a resposta por parte das plantas aos substratos, foi realizado um ensaio de crescimento em vasos, usando couve-chinesa como planta teste (adaptada da Norma Europeia EN 16086-1, CEN 2011).

4.2.1. Germinação das sementes e crescimento das plantas

Relativamente à percentagem de plantas germinadas (quadro 15), conclui-se que, ocorreu uma germinação acima de 95% apenas para a turfa fertilizada (0C+F), com tendências de decréscimo da germinação com o aumento da percentagem de composto no substrato. O substrato 100C obteve a taxa de germinação mais baixa, que poderá estar relacionado com a salinidade elevada e as propriedades físicas menos adequadas.

Quadro 15 - Valores médios da percentagem de germinação (%) nos substratos com e sem fertilização.

Substrato	Fertilização	Germinação (%)
0C	Nula	91,75 <i>ab</i>
25C	Nula	87,75 <i>abc</i>
50C	Nula	85,50 <i>abc</i>
75C	Nula	83,25 <i>abc</i>
100C	Nula	75,00 <i>bc</i>
SC	Nula	83,50 <i>abc</i>
0C+F	Completa	96,00 <i>a</i>
25C+F	Complemento	83,25 <i>abc</i>
50C+F	Complemento	85,25 <i>abc</i>
75C+F	Complemento	79,25 <i>abc</i>
100C+F	Complemento	73,00 <i>c</i>
SC+F	Completa	81,00 <i>abc</i>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

De acordo com os resultados obtidos no quadro 16, as plantas cultivadas nos substratos 100C, 100C+F e SC apresentaram um crescimento menor do que as plantas cultivadas nos restantes substratos. Estes resultados indicam-nos que o substrato comercial (SC) tem uma disponibilidade de nutrientes relativamente baixa, de acordo com os quadros 11, 12 e 13, bem como o valor de condutividade elétrica ser relativamente baixo. Contudo, o substrato 100C apresentou pesos relativamente baixos devido a concentrações de nutrientes elevadas e acima da gama de valores adequados, bem como um valor de condutividade elétrica elevada e concentrações de sódio elevadas.

A adição de composto à turfa, até 50% (em volume), teve um efeito muito positivo nas plantas, com aumentos significativos no crescimento, nas modalidades não fertilizadas. O aumento do crescimento terá resultado da maior disponibilidade de nutrientes, veiculados pelo composto, da melhoria do arejamento do substrato e da manutenção das restantes características físicas dos substratos dentro da gama de valores adequados. Nas modalidades contendo 75 e 100% de composto, houve um decréscimo acentuado do crescimento, devido ao aumento da salinidade e da degradação das propriedades físicas do substrato, nomeadamente da retenção de água.

Relativamente aos substratos contendo composto e fertilização complementar, verifica-se que, até 75% de composto, o crescimento foi superior ao das plantas correspondentes sem fertilização complementar. A biomassa seca extremamente baixa de algumas plantas não permitiu efetuar a posterior análise química dessas plantas.

O peso fresco das couves-chinesas cultivadas nos substratos com composto a 25 e 50% e fertilização complementar (fertilização apenas com azoto e potássio), foi idêntica ou superior ao peso fresco das plantas cultivadas no substrato comercial e na turfa, fertilizados com todos os nutrientes vegetais, indicando que, à excepção do N e do K, o composto veiculará os restantes nutrientes vegetais. Assim, utilizando o composto nas doses referidas, apenas será necessário aplicar azoto e potássio na fertilização base dos substratos à base deste composto.

Quadro 16 - Valores médios de peso fresco por vaso (PF por vaso), peso seco por vaso (PS por vaso), peso fresco por planta (PF por planta) e peso seco por planta (PS por planta) da parte aérea expressos em gramas sobre os ensaios de crescimento em vasos.

Substrato	Fertilização	PF por vaso (g)	PS por vaso (g)	PF por planta (g)	PS por planta (g)
0C	Nula	5,56 <i>fg</i>	0,99 <i>e</i>	0,79 <i>fg</i>	0,14 <i>e</i>
25C	Nula	17,02 <i>d</i>	2,40 <i>d</i>	2,43 <i>d</i>	0,34 <i>d</i>
50C	Nula	23,99 <i>c</i>	2,63 <i>cd</i>	3,43 <i>c</i>	0,38 <i>cd</i>
75C	Nula	8,75 <i>f</i>	0,79 <i>ef</i>	1,25 <i>f</i>	0,11 <i>ef</i>
100C	Nula	5,41 <i>fg</i>	0,55 <i>fg</i>	0,77 <i>fg</i>	0,08 <i>fg</i>
SC	Nula	0,28 <i>h</i>	0,04 <i>h</i>	0,04 <i>h</i>	0,01 <i>h</i>
0C+F	Completa	30,72 <i>b</i>	3,96 <i>a</i>	4,39 <i>b</i>	0,56 <i>a</i>
25C+F	Complemento	37,25 <i>a</i>	3,91 <i>a</i>	5,32 <i>a</i>	0,56 <i>a</i>
50C+F	Complemento	30,20 <i>b</i>	2,73 <i>c</i>	4,31 <i>b</i>	0,39 <i>c</i>
75C+F	Complemento	12,79 <i>e</i>	1,05 <i>e</i>	1,83 <i>e</i>	0,15 <i>e</i>
100C+F	Complemento	3,34 <i>gh</i>	0,34 <i>gh</i>	0,48 <i>gh</i>	0,05 <i>gh</i>
SC+F	Completa	25,14 <i>c</i>	3,39 <i>b</i>	3,59 <i>c</i>	0,48 <i>b</i>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).



Figura 11 - Plantas de couve-chinesa nos substratos sem fertilização ao fim de 3 semanas. Da esquerda para direita, vaso com substrato 0C, 25C, 50C, 75C, 100C e SC. (Fonte: Ana Mafalda Costa, Maio de 2017).



Figura 12 - Plantas de couve-chinesa nos substratos com fertilização ao fim de 3 semanas. Da esquerda para a direita, vaso com substrato 0C+F, 25C+F, 50C+F, 75C+F, 100C+F e SC+F. (Fonte: Ana Mafalda Costa, Maio de 2017).

Relativamente à avaliação visual das raízes (classificação da raiz na escala 0 a 5; quadro 17), verifica-se um desempenho semelhante à parte aérea das plantas cultivadas (quadro 16), uma vez que os substratos 100C, 100C+F e SC apresentaram valores relativamente baixos. O substrato comercial foi o substrato que obteve melhores resultados uma vez que recebeu a fertilização complementar. O aumento da percentagem de composto no substrato diminuiu os pesos das plantas cultivadas e da classificação de raízes, mesmo com a fertilização complementar.

Quadro 17 - Valores médios da avaliação visual da raiz (escala de 0 a 5) das plantas de couve-chinesa dos substratos com e sem fertilização.

Substrato	Fertilização	Classificação da Raiz (0 – 5)
0C	Nula	2,44 <i>c</i>
25C	Nula	2,56 <i>c</i>
50C	Nula	3,94 <i>b</i>
75C	Nula	1,19 <i>def</i>
100C	Nula	1,00 <i>ef</i>
SC	Nula	1,50 <i>de</i>
0C+F	Completa	4,19 <i>b</i>
25C+F	Complemento	3,94 <i>b</i>
50C+F	Complemento	2,87 <i>c</i>
75C+F	Complemento	1,75 <i>d</i>
100C+F	Complemento	0,56 <i>f</i>
SC+F	Completa	5,00 <i>a</i>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

4.2.2. Composição mineral da parte aérea das plantas

Como foi referido, em alguns substratos o reduzido crescimento das plantas não permitiu obter quantidades de matéria seca suficiente para se realizar a análise de composição mineral, nomeadamente as plantas dos substratos 100C, SC e 100C+F.

Relativamente aos macronutrientes principais azoto, fósforo e potássio (quadro 18) verificou-se que o aumento da percentagem de composto nos substratos levou a um aumento da concentração destes elementos na parte aérea das plantas, tanto nas plantas fertilizadas como nas plantas não fertilizadas. Estes resultados evidenciam que o composto disponibiliza estes nutrientes para a planta. Destacam-se, ainda, as concentrações de N, P, K nas plantas dos substratos 25C+F, 50C+F e 75C+F (que receberam apenas um complemento de fertilização) que são significativamente maiores do que nas plantas do substrato 0C+F que receberam uma fertilização completa. A concentração elevada de P nas plantas de todos os substratos com composto, quando comparada com a concentração em plantas de substratos sem composto (0C, 0C+F, SC+F) indica que a disponibilidade de P por parte do composto é suficiente para suprir as necessidades das plantas, uma vez que o complemento de fertilização aplicado não continha P.

Quadro 18 - Teores médios de azoto (N), potássio (K), e fósforo (P) na parte aérea das plantas de couve-chinesa (g por kg de matéria seca).

Substrato	Fertilização	N (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)
0C	Nula	9,47 <i>g</i>	6,41 <i>f</i>	1,90 <i>f</i>
25C	Nula	13,86 <i>ef</i>	8,01 <i>f</i>	14,16 <i>c</i>
50C	Nula	21,01 <i>d</i>	13,63 <i>e</i>	21,24 <i>a</i>
75C	Nula	47,38 <i>a</i>	31,38 <i>b</i>	16,79 <i>b</i>
0C+F	Completa	16,74 <i>e</i>	15,56 <i>e</i>	3,64 <i>ef</i>
25C+F	Complemento	23,64 <i>d</i>	20,10 <i>d</i>	11,23 <i>d</i>
50C+F	Complemento	31,52 <i>c</i>	28,40 <i>c</i>	12,62 <i>cd</i>
75C+F	Complemento	39,77 <i>b</i>	38,77 <i>a</i>	14,43 <i>bc</i>
SC+F	Completa	12,28 <i>fg</i>	28,16 <i>c</i>	6,21 <i>e</i>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

Relativamente aos macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) e ao sódio (quadro 19), observa-se uma tendência de aumento das suas concentrações nas plantas com o aumento de percentagem de composto nos substratos, verificando-se que nas modalidades com maior percentagem de composto (75C e 75C+F) a concentração destes elementos é significativamente mais alta que nas modalidades correspondentes sem composto (0C e 0C+F).

As concentrações de Ca e Mg nas plantas das modalidades com composto e com complemento de fertilização (esta sem Ca e Mg) foi significativamente superior às concentrações nas plantas das modalidades 0C+F e SC+F (com fertilização completa, contendo Ca e Mg), o que indica que o composto veiculará Ca e Mg suficiente para suprir as necessidades da planta. No caso do S, a tendência é semelhante, embora neste caso, o complemento de fertilização contem S na forma de sulfato de potássio, o que justifica o aumento nas modalidades fertilizadas.

Quadro 19 - Teores médios de cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e sódio (Na) na parte aérea das plantas de couve-chinesa (g por kg de matéria seca).

Substrato	Fertilização	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	S (g kg ⁻¹)	Na (g kg ⁻¹)
0C	Nula	24,54 <i>d</i>	4,67 <i>d</i>	3,44 <i>de</i>	2,52 <i>cd</i>
25C	Nula	32,81 <i>b</i>	7,07 <i>b</i>	3,76 <i>de</i>	3,09 <i>b</i>
50C	Nula	38,72 <i>a</i>	8,19 <i>a</i>	5,45 <i>cd</i>	4,40 <i>a</i>
75C	Nula	38,73 <i>a</i>	8,16 <i>a</i>	20,92 <i>a</i>	3,12 <i>b</i>
0C+F	Completa	23,53 <i>d</i>	4,56 <i>d</i>	3,15 <i>de</i>	0,90 <i>f</i>
25C+F	Complemento	29,32 <i>c</i>	6,24 <i>c</i>	7,54 <i>c</i>	2,30 <i>d</i>
50C+F	Complemento	31,91 <i>bc</i>	6,80 <i>bc</i>	10,86 <i>b</i>	3,15 <i>b</i>
75C+F	Complemento	37,30 <i>a</i>	8,04 <i>a</i>	22,14 <i>a</i>	2,93 <i>bc</i>
SC+F	Completa	16,80 <i>e</i>	3,51 <i>e</i>	1,68 <i>e</i>	1,51 <i>e</i>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

Quanto aos micronutrientes (quadro 20) observou-se, igualmente, uma tendência de aumento de concentrações de Cu, Zn, Mn e B nas plantas com o aumento de percentagem de composto nos substratos. Por oposição, a concentração de molibdénio diminuiu. No caso do Fe, sobretudo nas modalidades fertilizadas, e no Ni não se observou um padrão de variação definido. À exceção do molibdénio, a concentração de micronutrientes nas plantas das modalidades contendo composto é igual ou superior à concentração nas plantas das modalidades sem composto que receberam fertilização completa (0C+F e SC+F). Assim, estes resultados indicam que, com exceção de Mo, o composto disponibiliza os micronutrientes essenciais às plantas e a sua utilização na formulação de substratos permitirá eliminar a aplicação destes elementos na “fertilização base” dos substratos.

O Zinco é de destacar, tendo em conta que surge, nas modalidades contendo composto com teores muito elevados e superiores aos valores considerados adequados (20 a 200 mg kg⁻¹) em folhas de couve-chinesa (Benton-Jones *et al.*, 1991). Os resultados indicam, assim, uma possível toxicidade de zinco, sobretudo nas modalidades contendo 50 e 75% de composto.

Quanto aos micronutrientes Fe, Cu, Mn e B os teores observados são inferiores ao limite superior da gama de valores adequados, não sendo por isso suscetíveis de causar problemas.

Relativamente ao molibdénio, as gamas de valores adequados em folhas de diferentes tipos de brássicas, varia entre 0,10 e 1,0 mg kg⁻¹ (INIAP, 2006). Também Marschner (1995) refere que os níveis de Mo nas plantas variam entre 0,1 e 1,0 mg kg⁻¹. Marschner (1995) refere ainda que para este micronutriente, os níveis de toxicidade são muito superiores aos níveis de deficiência, podendo estes níveis diferir por um fator de até 10⁴. Assim, os resultados obtidos indicam que os teores de Mo nas plantas estará dentro dos valores adequados, muito abaixo dos níveis de toxicidade.

Os teores normais de Ni em plantas variam entre 1 e 10 mg kg⁻¹ (Marschner, 1995), sendo tóxico para plantas moderadamente tolerantes em concentrações superiores a 50 mg kg⁻¹ (Yusuf *et al.*, 2011). Assim, os valores obtidos encontram-se dentro desta faixa considerada normal, muito abaixo do limite de toxicidade.

Quadro 20 - Teores médios de ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), boro (B), molibdénio (Mo) e níquel (Ni) (mg por kg de matéria seca).

Substrato	Fe (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)	Mo (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)
0C	50,43 <i>d</i>	1,03 <i>ef</i>	56,86 <i>d</i>	40,07 <i>f</i>	7,22 <i>g</i>	3,52 <i>a</i>	1,61 <i>ab</i>
25C	67,53 <i>c</i>	1,80 <i>e</i>	344,39 <i>c</i>	109,81 <i>d</i>	21,71 <i>cd</i>	2,15 <i>bc</i>	1,05 <i>abc</i>
50C	67,70 <i>c</i>	3,20 <i>d</i>	684,73 <i>b</i>	155,33 <i>ab</i>	30,15 <i>a</i>	1,10 <i>cd</i>	0,86 <i>c</i>
75C	85,16 <i>ab</i>	10,75 <i>a</i>	1260,6 <i>a</i>	164,37 <i>ab</i>	26,80 <i>b</i>	0,63 <i>d</i>	1,71 <i>a</i>
0C+F	78,11 <i>bc</i>	0,22 <i>f</i>	53,57 <i>d</i>	71,67 <i>e</i>	18,51 <i>ef</i>	2,80 <i>ab</i>	1,12 <i>abc</i>
25C+F	97,60 <i>a</i>	2,02 <i>de</i>	475,05 <i>c</i>	117,02 <i>cd</i>	16,30 <i>f</i>	1,11 <i>cd</i>	1,05 <i>abc</i>
50C+F	76,30 <i>bc</i>	4,62 <i>c</i>	735,42 <i>b</i>	142,48 <i>bc</i>	24,47 <i>bc</i>	0,50 <i>d</i>	0,96 <i>bc</i>
75C+F	68,28 <i>bc</i>	8,95 <i>b</i>	1277,4 <i>a</i>	175,78 <i>a</i>	26,76 <i>b</i>	0,34 <i>d</i>	1,17 <i>abc</i>
SC+F	61,26 <i>cd</i>	0,02 <i>f</i>	59,84 <i>d</i>	39,47 <i>f</i>	20,40 <i>de</i>	1,35 <i>cd</i>	0,84 <i>c</i>
Valores* adequados	40-200	5-25	20-200	25-200	30-100	-	-

* Valores recomendados na primeira folha completamente desenvolvida (Benton-Jones *et al.*,1991). Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

Relativamente aos restantes metais pesados presentes nas plantas (quadro 21) não se observou nenhum padrão de variação relevante e o composto não levou a aumentos significativos dos teores destes metais nas plantas.

Os teores de crómio estão dentro da gama de valores obtidos por outros autores para diferentes plantas. Nabulo *et al.*, (2012) referem teores entre 1,34 e 65,2 mg kg⁻¹ PS em diferentes tipos de plantas, enquanto Szolnoki e Farsang (2013) detetaram um máximo de 7,36 mg kg⁻¹ de PS de Cr em diferentes vegetais em hortas urbanas. Leitão *et al.* (2016) encontraram teores de Cr em folhas de brássicas recolhidas em hortas urbanas da cidade de Lisboa de até 3,05 mg kg⁻¹ de PS, valores considerados pelos autores dentro da normalidade.

Alguns autores obtiveram valores semelhantes ou relativamente mais baixos no estudo sobre o impacto de metais pesados e os seus valores médios nas plantas (Xian, 1989). Hara e Sonoda (1979) afirmam que a couve (*Brassica* spp) tem mais tendências para acumulação de Cobalto (Co), Níquel (Ni) e, em menor quantidade, Cádmiio (Cd) num crescimento vegetativo mais desenvolvido.

Quadro 21 - Teores médios de crómio (Cr), cádmio (Cd) e chumbo (Pb) (mg kg⁻¹ de matéria seca).

Substrato	Cr (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)
0C	2,32 <i>ab</i>	1,78 <i>a</i>	1,85 <i>a</i>
25C	2,16 <i>abc</i>	0,82 <i>cd</i>	1,77 <i>ab</i>
50C	1,87 <i>cde</i>	0,93 <i>bc</i>	1,32 <i>cd</i>
75C	2,50 <i>a</i>	1,12 <i>bc</i>	1,72 <i>abc</i>
0C+F	1,75 <i>e</i>	0,95 <i>bc</i>	1,21 <i>d</i>
25C+F	2,10 <i>bcde</i>	0,83 <i>bcd</i>	1,37 <i>bcd</i>
50C+F	2,13 <i>abcd</i>	0,90 <i>bcd</i>	1,15 <i>d</i>
75C+F	2,25 <i>abc</i>	1,13 <i>b</i>	1,30 <i>cd</i>
SC+F	1,77 <i>de</i>	0,61 <i>d</i>	1,11 <i>d</i>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($\rho=0,05$).

Quanto ao cádmio e chumbo, o Regulamento (CE) 1881/2006 da Comissão de 19 de Dezembro de 2006 e as suas posteriores alterações, nomeadamente o Regulamento (CE) 629/2008 da Comissão de 2 de Julho de 2008, definem teores máximos destes elementos em alimentos. No caso dos produtos hortícolas de folhas, os teores máximos de Cd e Pb são, respetivamente, 0,2 e 0,3 mg kg⁻¹ de peso fresco. No quadro 22 apresentam-se os valores obtidos neste ensaio, convertidos para peso fresco de acordo com os teores de humidade da parte aérea das plantas. Estes resultados evidenciam que apenas a modalidade turfa sem fertilização ultrapassa a gamas de valores adequados, pelo que todas as modalidades com e sem composto, com exceção da turfa (0C) apresentam valores considerados pelos Regulamentos dentro da normalidade.

Quadro 22 - Teores médios de cádmio (Cd) e chumbo (Pb) (mg kg⁻¹ de matéria fresca).

Substrato	Cd (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)
0C	0,28 <i>a</i>	0,30 <i>a</i>
25C	0,10 <i>b</i>	0,23 <i>b</i>
50C	0,09 <i>b</i>	0,13 <i>cde</i>
75C	0,09 <i>b</i>	0,15 <i>c</i>
0C+F	0,11 <i>b</i>	0,14 <i>cd</i>
25C+F	0,08 <i>b</i>	0,13 <i>cde</i>
50C+F	0,07 <i>b</i>	0,09 <i>e</i>
75C+F	0,08 <i>b</i>	0,10 <i>de</i>
SC+F	0,07 <i>b</i>	0,14 <i>cde</i>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($\rho=0,05$).

4.2.3. Extração de nutrientes pela parte aérea das plantas

A extração de nutrientes corresponde à quantidade total de nutrientes extraída do substrato, para satisfazer as necessidades das plantas em elementos essenciais ao seu crescimento.

Os resultados obtidos indicam que em substratos não fertilizados há um aumento da extração de N, P e K, com o aumento de percentagem de composto de substrato até 50% (50C). De facto, as maiores extrações de nutrientes principais foram observadas no substrato 50C, o que confirma que o composto disponibiliza nutrientes para as plantas. Na modalidade 75C há uma grande redução da extração de nutrientes que será resultado da menor produção de biomassa (peso fresco e peso seco) observado (quadro 23).

As extrações de azoto e potássio foram maiores nas plantas fertilizadas com diferenças bastante acentuadas entre substratos fertilizados e não fertilizados, destacando-se, por exemplo, a diferença de extração de 52,75 mg/vaso de azoto entre as modalidades 25C e 25C+F. A turfa (0C) foi, também, um dos substratos em que a fertilização teve grande influência na extração dos nutrientes N e K, confirmando que este material tem, à partida, baixa disponibilidade destes nutrientes.

Relativamente ao fósforo, as extrações nas modalidades com composto foram significativamente superiores às observadas nos substratos testemunha fertilizados (0C+F e SC+F), confirmando que o composto disponibilizará quantidades suficientes de fósforo para suprir as necessidades das plantas.

Quadro 23 - Teores médios de azoto (N), potássio (K), e fósforo (P) extraídos por cada vaso (mg/vaso).

Substrato	N (mg/vaso)	K (mg/vaso)	P (mg/vaso)
0C	8,44 <i>e</i>	5,69 <i>f</i>	1,83 <i>e</i>
25C	30,11 <i>d</i>	17,41 <i>e</i>	33,94 <i>c</i>
50C	49,63 <i>c</i>	32,23 <i>d</i>	55,90 <i>a</i>
75C	34,47 <i>d</i>	22,73 <i>e</i>	13,42 <i>d</i>
0C+F	59,67 <i>b</i>	55,48 <i>c</i>	14,39 <i>d</i>
25C+F	82,86 <i>a</i>	70,57 <i>b</i>	43,99 <i>b</i>
50C+F	76,36 <i>a</i>	69,13 <i>b</i>	35,23 <i>c</i>
75C+F	38,45 <i>d</i>	37,14 <i>d</i>	15,46 <i>d</i>
SC+F	37,58 <i>d</i>	86,12 <i>a</i>	21,01 <i>d</i>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

Relativamente aos macronutrientes secundários e ao sódio (quadro 24, observa-se um padrão de variação idêntico ao para os macronutrientes principais. Nas modalidades não fertilizadas verifica-se um aumento de extração de nutrientes com o aumento da percentagem de composto até 50% (50C) e uma redução significativa das extrações na modalidade 75C. Nas modalidades fertilizadas, as extrações em 25C+F e 50C+F são iguais ou superiores às observadas nas modalidades testemunha com fertilização completa (0C+F e SC+F).

Quadro 24 - Teores médios de cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e sódio (Na) extraídos por cada vaso (mg/vaso).

Substrato	Ca (mg/vaso)	Mg (mg/vaso)	S (mg/vaso)	Na (mg/vaso)
0C	21,90 <i>g</i>	4,18 <i>f</i>	3,41 <i>f</i>	2,25 <i>e</i>
25C	71,32 <i>d</i>	15,35 <i>c</i>	9,02 <i>de</i>	7,42 <i>c</i>
50C	91,67 <i>ab</i>	19,38 <i>b</i>	14,30 <i>c</i>	11,58 <i>a</i>
75C	28,35 <i>fg</i>	5,96 <i>ef</i>	16,13 <i>c</i>	2,55 <i>e</i>
0C+F	83,87 <i>bc</i>	16,26 <i>c</i>	12,47 <i>cd</i>	3,58 <i>e</i>
25C+F	102,83 <i>a</i>	21,87 <i>a</i>	29,47 <i>a</i>	8,96 <i>b</i>
50C+F	78,49 <i>cd</i>	16,68 <i>c</i>	29,33 <i>a</i>	8,68 <i>bc</i>
75C+F	36,11 <i>f</i>	7,76 <i>e</i>	22,50 <i>b</i>	3,09 <i>e</i>
SC+F	51,41 <i>e</i>	10,75 <i>d</i>	5,68 <i>ef</i>	5,12 <i>d</i>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

Relativamente aos micronutrientes (quadro 25), verifica-se uma extração maior por parte das modalidades fertilizadas. Nas modalidades não fertilizadas, observa-se um padrão de variação semelhante ao observado em extrações de macronutrientes, em que há um aumento de extrações com o aumento de percentagem de composto até 50% (50C). No entanto, nas modalidades fertilizadas este padrão não se verifica no ferro e no molibdénio. No caso do Fe, os resultados vão de acordo com os observados na composição mineral da parte aérea das plantas em que não se observou um padrão de variação definido.

Relativamente ao Molibdénio, as extrações nas modalidades com composto são inferiores às extrações nas modalidades de substratos testemunha. Estes resultados indicam que, como observado na composição mineral da parte aérea das plantas, o composto disponibilizará os nutrientes essenciais para as plantas, com exceção do molibdénio.

Quadro 25 - Teores médios de ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), boro (B) e molibdénio (Mo) extraídos por cada vaso ($\mu\text{g/vaso}$).

Substrato	Fe ($\mu\text{g/vaso}$)	Cu ($\mu\text{g/vaso}$)	Zn ($\mu\text{g/vaso}$)	Mn ($\mu\text{g/vaso}$)	B ($\mu\text{g/vaso}$)	Mo ($\mu\text{g/vaso}$)
0C	44,93 <i>d</i>	0,90 <i>de</i>	50,92 <i>d</i>	36,07 <i>e</i>	6,48 <i>e</i>	3,14 <i>bcd</i>
25C	146,00 <i>c</i>	4,00 <i>cd</i>	746,30 <i>c</i>	238,83 <i>bc</i>	47,23 <i>c</i>	4,62 <i>b</i>
50C	160,16 <i>c</i>	7,56 <i>b</i>	1620,4 <i>a</i>	367,67 <i>a</i>	71,39 <i>a</i>	2,63 <i>bcd</i>
75C	62,49 <i>d</i>	8,01 <i>b</i>	918,13 <i>bc</i>	118,91 <i>d</i>	19,95 <i>d</i>	0,44 <i>d</i>
0C+F	278,22 <i>b</i>	0,78 <i>e</i>	190,98 <i>d</i>	255,67 <i>b</i>	66,02 <i>ab</i>	10,00 <i>a</i>
25C+F	340,76 <i>a</i>	7,16 <i>bc</i>	1644,1 <i>a</i>	407,96 <i>a</i>	57,42 <i>bc</i>	3,91 <i>bc</i>
50C+F	187,29 <i>c</i>	11,50 <i>a</i>	1770,4 <i>a</i>	349,78 <i>a</i>	59,98 <i>b</i>	1,20 <i>cd</i>
75C+F	68,28 <i>d</i>	8,61 <i>ab</i>	1203,4 <i>b</i>	175,66 <i>cd</i>	25,74 <i>d</i>	0,19 <i>d</i>
SC+F	187,40 <i>c</i>	0,06 <i>e</i>	182,66 <i>d</i>	120,94 <i>d</i>	62,42 <i>ab</i>	4,20 <i>b</i>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

4.2.4. Análise química aos substratos no final do ensaio

No final do ensaio efetuou-se a determinação do pH, da CE e dos cloretos, nos substratos para determinar a influência que as plantas e o seu crescimento tiveram nestas propriedades do substrato.

Durante o ensaio houve uma tendência de aumento dos valores de pH, que em alguns substratos atingiu cerca de uma unidade (quadro 10 e quadro 26). No entanto, nos substratos de 75 e 100% de composto, os valores de pH mantiveram-se relativamente baixos.

A condutividade elétrica teve um decréscimo relativamente às análises dos substratos iniciais, podendo concluir-se que os sais solúveis associados foram absorvidos pelas plantas nas 3 semanas de ensaio. Para cada substrato, os valores de condutividade elétrica são idênticos nas modalidades com e sem fertilização.

Relativamente aos cloretos, os substratos de 75 e 100% de composto apresentaram os teores mais elevados, ultrapassando os limites sugeridos por Verdonck e Gabriëls (1988). Relativamente aos restantes substratos, os valores obtidos não são suscetíveis de causar problemas e limitações.

Quadro 26 - Valores médios de pH, CE (mS cm^{-1}) no extrato aquoso 1:5 (v v^{-1}), e teores médios de cloretos (Cl^-) em mg L^{-1} nos substratos dos vasos após o ensaio de crescimento das plantas.

Substrato	Fertilização	pH	Condutividade elétrica (mS cm^{-1})	Cl^- (mg L^{-1})
0C	Nula	6,62 <i>a</i>	0,05 <i>c</i>	35,45 <i>e</i>
25C	Nula	5,63 <i>d</i>	0,08 <i>c</i>	33,23 <i>e</i>
50C	Nula	5,29 <i>ef</i>	0,12 <i>c</i>	46,53 <i>cde</i>
75C	Nula	4,89 <i>g</i>	0,43 <i>b</i>	104,13 <i>abcd</i>
100C	Nula	4,62 <i>h</i>	0,61 <i>a</i>	161,74 <i>a</i>
SC	Nula	6,23 <i>b</i>	0,07 <i>c</i>	37,67 <i>e</i>
0C+F	Completa	6,17 <i>bc</i>	0,07 <i>c</i>	68,68 <i>bcde</i>
25C+F	Complemento	5,33 <i>e</i>	0,15 <i>c</i>	57,61 <i>cde</i>
50C+F	Complemento	5,14 <i>f</i>	0,17 <i>c</i>	44,31 <i>de</i>
75C+F	Complemento	4,79 <i>g</i>	0,44 <i>b</i>	108,57 <i>abc</i>
100C+F	Complemento	4,58 <i>h</i>	0,62 <i>a</i>	121,86 <i>ab</i>
SC+F	Completa	6,04 <i>c</i>	0,07 <i>c</i>	28,80 <i>e</i>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p=0,05$).

5. CONCLUSÃO

A conjugação dos resultados obtidos relativamente ao efeito do composto constituído por lamas de ETAR e casca de pinheiro (NATURANAT) sobre: i) as características físico-químicas e químicas dos substratos; ii) a germinação e o desenvolvimento radicular do agrião; iii) o crescimento de couve-chinesa em vasos e iv) a composição mineral das plantas de couve-chinesa, permite, em termos gerais, tirar as seguintes conclusões:

- A adição de composto à turfa, até 50% (em volume), não afetou a germinação nem o crescimento radicular do agrião, indicando que, nestas proporções, não são de recesso efeitos fitotóxicos do composto na germinação;

- A adição de composto à turfa, até 50% (em volume), teve um efeito muito positivo nas plantas de couve-chinesa, com aumentos significativos no crescimento, nas modalidades não fertilizadas. O aumento do crescimento terá resultado de uma maior disponibilidade de nutrientes, veiculados pelo composto, da melhoria do arejamento do substrato e da manutenção das restantes características físicas dos substratos dentro da gama de valores adequados;

- Nas modalidades contendo 75 e 100% de composto observou-se um decréscimo acentuado do crescimento das plantas de couve-chinesa, devido ao aumento da salinidade, da degradação das propriedades físicas (nomeadamente da retenção de água) e de uma eventual toxicidade de zinco;

- O zinco foi o elemento limitador da germinação para proporções de composto superiores a 50%, atingindo concentrações muito elevadas na parte aérea das plantas, no entanto, a concentração dos restantes metais pesados nas plantas foi relativamente baixa, não havendo evidências de toxicidade;

- A produção de biomassa fresca das couves-chinesas cultivadas nos substratos com composto a 25 e 50% de composto, e fertilizados apenas com azoto e potássio foi idêntica ou superior à produção de biomassa fresca das couves-chinesas cultivadas no substrato comercial e na turfa, fertilizados com todos os nutrientes vegetais. Os resultados indicam, assim, que com exceção de N e de K, o composto veiculará todos os nutrientes necessários ao crescimento das plantas, não sendo necessário aplicá-los na forma de adubos na fertilização base dos substratos.

Deste modo, os substratos contendo 25 e 50% (em volume) de composto, com complemento de fertilização de azoto e potássio, poderão ser boas alternativas ao uso de turfa a 100% e ao substrato comercial, com fertilização completa, uma vez que o crescimento das plantas foi satisfatório e a concentração de nutrientes nas plantas é adequada. Contudo,

há uma série de fatores a ter em conta para um melhor manuseamento dos substratos, nomeadamente o controlo da salinidade, do pH e do teor de zinco, e ajustar a fertilização de acordo com as concentrações de nutrientes disponibilizadas pelo substrato e com a espécie agrícola a cultivar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abad M., Noguera P. e Burés S., 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology* **77** (2): pp. 197-200

Andrade J.A. e Abreu F.G., 2008. *Effects of climatic changes on the establishment of Mediterranean crops*. In <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/8058/1/WSCRA08%20-%20J.%20Andrade.pdf> (acedido dia 22 de dezembro de 2017 às 23:52 horas).

Andriessse J. P., 1988. *Nature and Management of Tropical Peat Soils*. Roma, Itália: Soil Resources, Management and Conservation Service; FAO Land and Water Development Division

Ansorena-Miner J., 1994. *Sustratos, propiedades y caracterizacion*, S.A. Mundi. ed. Madrid.

Barker A. V., 1997. Composition and Uses of Compost. In: Rechcigl J. E., MacKinnon H. C., eds. *Agricultural Uses of By-Products and Wastes*. Florida, Estados Unidos da América: American Chemical Society pp. 140-162

Baumgarten A. e Spiegel H., 2004. Phytotoxicity (Plant tolerance). *Agency for Health and Food Safety*, Vienna.

Benton-Jones J., Wolf B. e Mills H. A., 1991. *Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide*. Micro-Macro Pub

Bilderback T. E., Riley E. D., Jackson B. E., Owen J. S., Fain G. B. e Altland J., 2013. Strategies for Developing Sustainable Substrates in Nursery Crop Production. *Acta Horticulturae* **1013**: pp. 43-56

Brito L. M. e Mourão I., 2012. Características dos substratos para horticultura Propriedades e características dos substratos Parte I. *Agrotec Publindústria, LDA* **2**: pp. 32-38

Brito L. M. e Mourão I., 2012. Características dos substratos para horticultura Composição e características dos constituintes individuais dos substratos Parte II. *Agrotec Publindústria, LDA* **3**: pp. 64-69

Bunt A. C., 1976. *Modern Potting Composts: A manual on the Preparation and use of the growing media for pot plants*. Reino Unido: George Allen & Unwin Ltd

Bunt A. C., 1983. Physical properties of mixtures of peats and minerals of different particle size and bulk density for potting substrates. *Acta Horticulturae* **150**: pp. 143-153

Cáceres R., Coromina N., Malińska K., Martínez-Farré F. X., López M., Soliva M. e Marfà O., 2016. Nitrification during extended co-composting of extreme mixtures of green waste and solid fraction of cattle slurry to obtain growing media. *Waste Management* **58**: pp. 118–125

Caetano M., Igreja C., Marcelino F. e Costa H., 2017. Estatísticas e dinâmicas territoriais multiescala de Portugal Continental 1995-2007-2010 com base na Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS). Relatório Técnico. Direção-Geral do Território (DGT)

Carlile W. R. e Wilson D. P., 1991. Microbial Activity in Growing Media – A brief review. *Acta Horticulturae* **294**: pp. 197-206

Cameron C. C., Esterle J. S. e Palmer C. A., 1989. The geology, botany and chemistry of selected peat-forming environments from temperate and tropical latitudes. *International Journal of Coal Geology* **12**: pp. 105-156

CEN (1999a). EN 13040 - *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.

CEN (1999b). EN 13037 - *Soil improvers and growing media, determination of electrical conductivity*. European Committee for Standardization, Brussels. 9p

CEN (1999c). EN 13038 - *Soil improvers and growing media, determination of electrical conductivity*. European Committee for Standardization, Brussels.

CEN (2001). EN 13650 - *Soil improvers and growing media - Extraction of aqua regia soluble elements*. European Committee for Standardization, Brussels.

CEN (2001b). EN 13652 - *Soil improvers and growing media - Extraction of water soluble nutrients and elements*. European Committee for Standardization, Brussels.

CEN (2011). EN 13041 - *Soil improvers and growing media - Determination of physical properties - Dry bulk density, air volume, water volume, shrinkage value and total pore space*. European Committee for Standardization, Brussels.

CEN (2011). EN 16086-1 - *Soil improvers and growing media - Determination of plant response - Part 1: Pot growth test with Chinese cabbage*. European Committee for Standardization, Brussels.

CEN (2011). EN 16086-2 - *Soil improvers and growing media - Determination of plant response - Part 2: Petri dish test using cress*. European Committee for Standardization, Brussels.

Costa M. M. e Ferreira M. E., 2002. Utilização agrícola de lamas de ETAR. *Direção Regional de Agricultura de Entre-Douro e minho* Ficha Técnica **103**

Cunha-Queda A. C., Ribeiro H. M., Ramos A. e Cabral F., 2007. Study of biochemical and microbiological parameters during composting of pine and eucalyptus bark. *Bioresource Technology* **98** (17): pp. 3213-3220

Cutillas-Barreiro L., Ansias-Manso L., Fernández-Calviño D., Arias-Estévez M., Nóvoa-Muñoz J. C., Fernández-Sanjurjo M. J., Álvarez-Rodríguez E. e Núñez-Delgado A., 2014. Pine bark as bio-adsorbent for Cd, Cu, Ni, Pb and Zn: Batch-type and stirred flow chamber experiments. *Journal of Environmental Management* **144**: pp. 258-264

De Boodt M. e Verdonck O., 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* **26**: pp. 37-44

Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de junho.

Esterle J. S. e Ferm J. C., 1994. Spatial variability in modern tropical peat deposits from Sarawak, Malaysia and Sumatra, Indonesia: analogues for coal. *International Journal of Coal Geology* **26**: pp. 1-41

Ferraz M. V., Centurion J. F. e Beutler A. N., 2005. Caracterização física e química de alguns substratos comerciais. *Acta Scientiarum: Agronomy* **27** (2): pp. 209-214

Gonçalves M. S., 2005. *Gestão de resíduos sólidos*. Porto, Portugal: Sociedade Portuguesa de Inovação

Handreck K. e Black N., 1999. *Growing media for ornamental plants and turf*. Sydney, Austrália: University of New South Wales Press.

Hara T. e Sonoda Y., 1979. Comparison of the toxicity of heavy metals to cabbage growth. *Plant and Soil* **51**: pp. 127-133

Hartz T. K., Costa F. J. e Schrader W. L., 1996. Suitability of Composted Green Waste for Horticultural Uses. *HortScience* **31** (6): pp. 961–964

Hicklenton P. R., Rodd V. e Warman P. R., 2001. The effectiveness and consistency of source-separated municipal solid waste and bark composts as components of container growing media. *Scientia Horticulturae* **91**: pp. 365-378

Holcroft D. M. e Laing M. D., 1995. Evolution of pine bark as a substrate for *Anthurium* production in South Africa. *Acta Horticulturae* **401**: pp. 177-183

Horneck D. e Miller R., 1998. Determination of Total Nitrogen in Plant Tissue. In: Kalra, Y.-P., Ed., *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*, CRC Press, New York, pp. 75-83.

Houba V. J. G., Van der Lee J. J., Novozamsky I. e Walling I., 1989. *Soil and Plant Analysis, Part 5. Soil Analysis Procedures*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Agricultural University.

Ignatowicz K., 2017. The impact of sewage sludge treatment in the content of selected heavy metals and their fractions. *Environmental Research* **156**: pp. 19-22

INIAP, LQARS, 2006 – *Manual de Fertilização das Culturas*. INIAP – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva

Jarvis B. R., Calkins J. B. e Swanson B. T. 1996. Compost and Rubber Tire Chips as Peat Substitutes in Nursery Container Media: Effects on Chemical and Physical Media Properties. *Journal of Environmental Horticulture* **14** (3): pp. 122-129

Kala D. R., Rosenani A. B., Fauziah C. I. e Thohirah L. A. 2009. Composting Oil Palm Wastes and Sewage Sludge For Use In Potting Media Of Ornamental Plants. *Malaysian Journal of Soil Science* **13**: pp. 77-91

Kosobucki P., Chmarzyński A. e Buszewski B., 2000. Sewage Sludge Composting. *Polish Journal of Environmental Studies* **9** (4): pp. 243-248

Kraus H. T. e Warren S. L., 2000. Performance of Turkey Litter Compost as a Slow-release Fertilizer in Containerized Plant Production. *Hortscience* **35** (1): pp. 19–21

Landis T. D., Jacobs D. F., Wilkinson K. M. e Luna T., 2014. Growing Media. *Tropical Nursery Manual*. Washington, Estados Unidos da América: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, pp. 101-121

Leitão T. E., Henriques M. J., Cameira M. R., Mourato M., Rodrigo I., Martins M. L. L., Costa H. D. e Pacheco J. M., 2016. Avaliação da qualidade dos solos, das águas subterrâneas e das espécies hortícolas em hortas urbanas de Lisboa. Identificação de medidas de mitigação visando a proteção da saúde pública. Relatório 54/2016 – DHA/NRE, LNEC

Marschner H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press

Matos C. M., 2011. *Formulação e avaliação de substratos para a produção de plantas aromáticas envasadas em modo de produção biológico*. Lisboa, Portugal: Instituto Superior de Agronomia, Dissertação para obtenção do Grau Mestre em Engenharia Agronómica

Miner J. A., 1994. *Sustratos Propiedades y Caracterizacion*. Espanha: Ediciones Mundi-Prensa

- McGrath S. P., Chaudri A. M. e Giller K. E., 1995. Long-term effects of metals in sewage sludge on soils, microorganisms and plants. *Journal of Industrial Microbiology* **14** (2): pp. 94–104
- Moore K. K., 2004. Growth of Bedding Plants in Substrates Amended with Compost and Fertilized with Three Different Release Rates of a Controlled-release Fertilizer Product. *HortTechnology* **14** (4): pp. 474-478
- Moore K. K., 2005. Uses of Compost in Potting Mixes. *HortTechnology* **15** (1): pp. 58-60
- Naasz R., Michel J. C. e Charpentier S., 2005. Measuring Hysteretic Hydraulic Properties of Peat and Pine Bark using a Transient Method. *Soil Science Society of America Journal* **69**: pp. 13–22
- Nabulo G., Black C. R., Craigon J. e Young S. D., 2012. Does Consumption of Leafy Vegetables Grown in Pen-Urban Agriculture Pose a Risk to Human Health? *Environmental Pollution* **162**: pp. 389-398
- Nunes E., Quilhó T. e Pereira H., 1999. Anatomy and chemical composition of *Pinus pinea* L. bark. *Annals of Forest Science* **56**: pp. 479-484
- Raviv M., Wallach R. e Blom T. J., 2004. The effect of physical properties of soilless media on plant performance – a review. *Acta Horticulturae* **644**: pp. 251-259
- 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.
- Regulamento (CE) N.º 629/2008 da Comissão de 2 de Julho de 2008 que altera o Regulamento (CE) N.º 1881/2006 que fixa os teores máximos de certos contaminantes presentes nos géneros alimentícios.
- Ribeiro D., Ribeiro H. e Louro V., 2001. Produção em Viveiros Florestais. Lisboa, Portugal: Direção-Geral de Desenvolvimento Rural pp. 85-117
- Ribeiro H. M., Romero A. M., Pereira H., Borges P., Cabral F. e Vasconcelos E., 2007. Evaluation of a compost obtained from forestry wastes and solid phase of pig slurry as a substrate for seedlings production. *Bioresource Technology* **98** (17): pp. 3294–3297
- Ribeiro H. M., 2016. Apontamentos de aulas da Unidade Curricular Fertilizantes e Técnicas de Fertilização. Matéria: SUBSTRATOS para cultivo sem solo I - Propriedades substratos
- Serrão M. G., Boto J. M., Neves M. J., Fernandes M. L., Martins J. C., Pires F. P. e Oliveira A., 2002. Evolução da fertilidade de um solo Mediterrâneo Pardo de Materiais Não Calcários de grauvaques sob pastagem, por efeito da adubação e da fertilização com uma lama de ETAR. *Revista de Ciências Agrárias* **25** (3 e 4): pp. 382-393

- Sonneveld C., van den Ende J. e van Dijk P. A., 1974. Analysis of growing media by means of 1:1 $\frac{1}{2}$ volume extract. *Comm. In Soil Science and Plant Analysis*. **5** (3): pp. 183-202
- Sterrett S. B., 2005. Los compost como sustratos para la horticultura en la producción de material de transplante. In: Stoffella P. J. e Kahn B. A., eds. *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*. Madrid, Espanha: Ediciones Mundi-Prensa pp. 227-237
- Szolnoki Z. e Farsang A., 2013. Evaluation of Metal Mobility and Bioaccessibility in Soils of Urban Vegetable Gardens Using Sequential Extraction. *Water Air and Soil Pollution* **224** (10)
- Verdonck O., De Vleeschauwer D. e De Boodt M., 1981. The influence of the substrate to plant growth. *Acta Horticulturae* **126**: pp. 251-258
- Verdonck O. e Gabriëls R., 1988. Substrate requirements for plants. *Acta Horticulturae* **221**: pp. 19-24
- Verdonck O. e Gabriëls R., 1992. Reference Method for the Determination of Physical Properties of Plant Substrates. II. Reference Method for the Determination of Chemical Properties of Plant Substrates. *Acta Horticulturae* **302**: pp. 169-179.
- Wallach R., 2008. Physical Characteristics of Soilless Media. In: Raviv M. e Heinrich Lieth J., eds. *Soilless Culture*. Estados Unidos da América: Elsevier pp. 41-108
- Warncke D. D. e Krauskopf D. M., 1983. Greenhouse Growth Media: Testing & Nutrition Guidelines. Michigan State University Coop. Extension Bulletin E-1736
- Warren S. L. e Bilderback T. E., 1992. Arcillite: Effect on Chemical and Physical Properties of Pine Bark Substrate and Plant Growth. *Journal of Environmental Horticulture* **10** (2): pp. 63-69
- Xian X., 1989. Effect of chemical forms of cadmium, zinc, and lead in polluted soils on their uptake by cabbage plants. *Plant and Soil* **113**: pp. 257-264
- Yan Y., Liu C., Qimei L., Guitong L. e Xiaorong Z., 2017. Efficiency of sewage sludge biochar in improving urban soil properties and promoting grass growth. *Chemosphere* **173**: pp. 551-556
- Yusuf M., Fariduddin Q., Hayat S. e Ahmad A., 2011. Nickel: An Overview of Uptake, Essentiality and Toxicity in Plants. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **86** (1): pp. 1-17
- Zucconi F., Pera A., Forte M. e deBertoldi M., 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle* **22** (2): pp. 54-57

ANEXO I - CARACTERÍSTICAS DO COMPOSTO NATURANAT

Parâmetros	Unidades		
Humidade	%	45,0	± 5
Matéria Orgânica		86,9	± 6
Carbono total		48,2	± 5
Condutividade elétrica	mS/cm	1,5	± 0,2
Relação C/N		22,0	± 2
Azoto total (N)	%	2,1	
Fósforo (P ₂ O ₅)		1,62	
Potássio (K ₂ O)		0,2	
Cálcio (CaO)		1,85	
Magnésio (MgO)		0,29	
Boro total (B)	mg/kg	9,8	
Cádmio total (Cd)	mg/kg	0,8	
Chumbo total (Pb)		25,0	
Cobre total (Cu)		203,0	
Crómio total (Cr)		41,0	
Mercúrio total (Hg)		0,4	
Níquel total (Ni)		28,0	
Zinco total (Zn)		653,0	
Massa volúmica aparente	kg/dm ³	0,5	± 0,1
Granulometria: 1-20 mm	%	100,0	