

Valorização de resíduos da indústria corticeira na formulação de substratos para produção de plantas

José Maria Branco Canas Henriques da Silva

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Agronómica

Orientador: Professor Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro

Júri:

Presidente: Doutora Maria do Rosário Conceição Cameira, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

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

Doutor Joaquim Miguel Rangel da Cunha Costa, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Agradecimentos

Ao professor Henrique Ribeiro, por me ter orientado ao longo deste projeto, sempre com todo o entusiasmo, disponibilidade e simpatia.

À Equipar – Indústria de Cortiça, S.A., pelo interesse no projeto e disponibilidade para nos mostrar a fábrica e ceder amostras de resíduos de cortiça essenciais ao trabalho.

À Catarina Chemetova Oliveira, por me ter ajudado ao longo do projeto, nos procedimentos experimentais no laboratório e por toda a preocupação demonstrada.

Ao Engenheiro Miguel Martins, do Departamento de Ciências e Engenharia de Biosistemas do ISA, por toda a ajuda que me deu ao longo de todos os procedimentos realizados no laboratório e pela paciência e boa disposição.

À Engenheira Carla Faria, do viveiro florestal do ISA, por me ter ajudado nas sementeiras e condução do ensaio de pinheiros realizado no viveiro florestal.

Ao Instituto Superior de Agronomia, por tudo o que me deu ao longo destes últimos dois anos.

Aos meus pais, por terem tornado este mestrado possível e por me terem sempre dado o apoio necessário à conclusão do mesmo.

À Madalena por todo o apoio que me deu ao longo do mestrado, em especial nesta última fase da tese.

Este trabalho foi executado no âmbito do Projeto/Grupo Operacional “Desenvolvimento de estratégias integradas para prevenção do Cancro-resinoso-do-pinheiro (+PrevCRP), financiado pelo PDR 2020 (Operação 1.0.1 - Grupos Operacionais; Anúncio de abertura nº 01; Ação 1.1/2016; Candidatura nº PDR2020-101-031058; Parceria nº 112; Iniciativa nº 237).

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade do uso de resíduos provenientes da indústria corticeira na formulação de substratos alternativos para viveiros. No caso específico dos viveiros florestais, a casca de pinheiro, um dos principais componentes dos substratos utilizados, poderá ser uma via de dispersão do fungo *Fusarium circinatum* (cancro-resinoso-do-pinheiro). Nestes viveiros, a utilização dos resíduos de cortiça (de uma espécie não hospedeira do fungo) reduzirá significativamente o risco de infecção das jovens plantas no viveiro.

Foram formulados e testados dez substratos, contendo diferentes percentagens de dois resíduos de cortiça (“terras de cortiça” e “granulado ADT”), com as seguintes proporções de turfa:resíduo, em volume: 100:0; 75:25; 50:50; 25:75 e 0:100. Os substratos formulados foram caracterizados analiticamente e testados num ensaio de crescimento em vaso recorrendo a uma planta-teste (couve-chinesa).

Os resíduos de cortiça originaram um aumento do arejamento dos substratos obtidos e uma redução da sua contratilidade, melhorando, significativamente, estas propriedades físicas. No entanto, para percentagens superiores a 50%, há uma redução da água disponível para as plantas, para valores inferiores aos recomendados.

A adição dos resíduos de cortiça à turfa originou uma redução do crescimento da planta-teste, mais acentuada nas percentagens superiores a 50%, que poderá estar associada à redução de retenção de água disponível (“terras” e ADT), da fitotoxicidade (ADT) e de uma eventual imobilização de azoto (“terras de cortiça”).

A couve-chinesa é utilizada como planta-teste por ser uma espécie bastante sensível. Com espécies mais rústicas e menos sensíveis, como as espécies florestais, nomeadamente os pinheiros, o decréscimo de crescimento observado na couve-chinesa poderá não ser tão pronunciado. Assim, os resultados deste trabalho indicam que os resíduos de cortiça estudados poderão ter potencial para serem utilizados na formulação de substratos, em percentagens até 50%, nomeadamente, na substituição da casca de pinheiro dos substratos utilizados nos viveiros florestais.

Palavras-chave: Cancro-resinoso-do-pinheiro; substrato; resíduos de cortiça; “terras”; ADT;

Abstract

The present work aimed to study the possible use of wastes from the cork industry as a substrate component for nurseries. In forest nurseries, pine bark is one of the main components of the used substrates. However, pine bark, may contribute for the dispersion of the fungus *Fusarium circinatum* (pitch-canker-of-pine) in those nurseries. Consequently, the use of cork residues (from a non-host fungus species) will significantly reduce the risk of infection of young plants by the fungus.

Ten substrates containing different percentages of two cork residues ("terras" and "ADT granulate") were formulated, with the following percentages of peat:residue, in volume: 100:0; 75:25; 50:50; 25:75 and 0:100. The formulated substrates were characterized analytically and tested in a pot growth assay using a test plant (chinese-cabbage).

The cork residues increased the substrates aeration and reduced shrinkage, improving significantly these physical properties. However, for percentages greater than 50%, there was a reduction of the available water for plants, to values lower than the recommended ones.

The addition of cork residues to peat reduced the growth of the plants tested, this reduction is more pronounced in percentages above 50%, which may be associated with the reduction of the available water retention ("terras" and ADT), phytotoxicity (ADT) and a possible immobilization of nitrogen ("terras").

Chinese-cabbage was used as a test plant because it is a very sensitive species. With more rustic and less sensitive species, such as forest species, namely pine trees, the decrease in growth observed in chinese-cabbage may not be as pronounced. Thus, the results of this work shows us that the cork residues studied may have the potential to be used in the formulation of substrates, in percentages up to 50%, namely in the replacement of the pine bark used as substrate component in forest nurseries.

Keywords: Pitch-Canker-of-Pine; substrate; cork residue; "terras"; ADT;

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. Fungo <i>Fusarium circinatum</i> (cancro-resinoso-do-pinheiro).....	2
2.1.1. Caracterização do fungo <i>Fusarium circinatum</i> e dos sintomas associados.....	2
2.1.1.1. Taxonomia.....	2
2.1.1.2. Hospedeiros.....	2
2.1.1.3. Sintomas.....	3
2.1.1.4. Biologia e Disseminação.....	3
2.2. A floresta portuguesa e suas principais espécies.....	5
2.2.1. Pinheiro (<i>Pinus</i> spp.).....	6
2.2.1.1. Contextualização dos pinheiros em Portugal.....	6
2.2.1.2. Resíduos/subprodutos suscetíveis de uso como substrato (pinheiro).....	8
2.2.2. Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.).....	9
2.2.2.1. Contextualização do Eucalipto em Portugal.....	9
2.2.2.2. Resíduos/subprodutos suscetíveis de uso como substrato (eucalipto).....	9
2.2.3. Sobreiro (<i>Quercus suber</i>).....	10
2.2.3.1. Contextualização do Sobreiro em Portugal.....	10
2.2.3.2. Cortiça.....	10
2.2.3.3. Características e composição da cortiça.....	11
2.2.3.4. Transformação da Cortiça.....	12
2.2.3.5. Resíduos da indústria corticeira.....	12
2.2.3.6. Utilização da cortiça como substrato.....	13
3. Material e métodos	16
3.1. Materiais utilizados na formulação de substratos.....	16

3.1.1. Turfa.....	16
3.1.2. “Terras” de Cortiça.....	16
3.1.3. Granulado ADT.....	17
3.2. Substratos formulados e testados.....	18
3.3. Teste de fitotoxicidade – Ensaio de germinação de agrião em placas de Petri.....	19
3.4. Ensaio em vasos.....	20
3.4.1. Fertilização.....	20
3.4.2. Instalação e Condução do ensaio.....	21
3.5. Análise de Plantas.....	23
3.6. Caracterização física e química dos substratos.....	24
3.7. Ensaio com pinheiro bravo e pinheiro manso.....	26
3.8. Tratamento Estatístico.....	27
4. Resultados e Discussão.....	28
4.1. Propriedades físicas.....	28
4.2. Propriedades Químicas.....	30
4.3. Teste de Fitotoxicidade.....	34
4.4. Ensaio em vasos recorrendo a couve-chinesa.....	36
4.5. Composição mineral da parte aérea das plantas.....	40
5. Conclusões.....	46
6. Referências Bibliográficas.....	48

Índice de Figuras

Figura 1 – Ciclo de desenvolvimento do fungo <i>Fusarium circinatum</i>	4
Figura 2 – Zona mais adequada à plantação de <i>Pinus pinaster</i> em Portugal Continental.....	6
Figura 3 – Zona mais adequada à plantação de <i>Pinus pinea</i> em Portugal Continental.....	7
Figura 4 – Zona mais adequada à plantação de <i>Quercus suber</i> em Portugal Continental.....	10
Figura 5 – “Terras” de cortiça fornecidas pela Equipar - Indústria de Cortiça, S.A.	17
Figura 6 – Granulado ADT fornecido pela Equipar – Indústria de Cortiça, S.A.....	18
Figura 7 – Caixa de Petri contendo turfa (réplica de controlo) após a colocação das sementes de agrião para testar a fitotoxicidade.....	19
Figura 8 – Vasos após a sementeira na estufa contendo todas as modalidades de substratos testadas no ensaio.....	21
Figura 9 – Vasos usados como referencia para realizar a avaliação visual das raízes (1- pouco desenvolvimento radicular; 3- desenvolvimento radicular médio; 5- desenvolvimento radicular ótimo).....	22
Figura 10 – Digestor utilizado para determinar o teor de azoto recorrendo ao método de Kjeldahl.....	23
Figura 11 – Cilindros preenchidos com os substratos colocados na caixa de areia (Eijkelkamp Soil & Water, Giesbeek, Holanda).....	25
Figura 12 – Tabuleiros de alvéolos após a sementeira dos Pinheiros, em cima sem a vermiculite e em baixo com vermiculite.....	27
Figura 13 – Diferença entre a pior e a melhor modalidade. Placas de Petri 20 (à esquerda) e placas de Petri 12 (à direita), correspondendo aos substratos 100AD e 25T, respetivamente.....	35
Figura 14 – Plantas de couve-chinesa nos substratos contendo “terras” ao fim de 5 semanas. Da esquerda para a direita, vaso com substrato 0T, 25T, 50T, 75T e 100T.....	37
Figura 15 – Plantas de couve-chinesa nos substratos contendo ADT ao fim de 5 semanas. Da esquerda para a direita, vaso com substrato 0AD, 25AD, 50AD, 75AD e 100AD.....	38
Figura 16 – Diferenças entre o desenvolvimento das raízes das plantas contendo “terras” na sua composição (cima) e das raízes das plantas contendo ADT na sua composição (baixo).....	39

Índice de Quadros

Quadro 1 – Principais espécies florestais que ocupam a floresta portuguesa.....	5
Quadro 2 – Valores ideais das principais características físicas dos substratos de cultivo.....	15
Quadro 3 – Composição dos diferentes substratos formulados (% em volume)....	18
Quadro 4 – Fertilização efetuada, por litro de substrato.....	20
Quadro 5 – Massa volúmica aparente (g dm^{-3}), porosidade total (% v v^{-1}) e contratilidade (%) dos substratos em estudo.....	28
Quadro 6 – Retenção de água (% v v^{-1}) a pF1, pF1,7 e pF2.....	29
Quadro 7 – Arejamento a pF1 (% v v^{-1}), água facilmente disponível (AFD), água de reserva (AR) e água disponível (AD) (% v v^{-1}).....	30
Quadro 8 – pH e condutividade elétrica (mS cm^{-1}) dos substratos no extrato aquoso 1:5 (v v^{-1}).....	31
Quadro 9 – 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}).....	32
Quadro 10 – 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}).....	33
Quadro 11 – 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}).....	33
Quadro 12 – Valores médios de germinação (%), do comprimento de raízes (cm) e valores do Índice de Vitalidade de Munoo-Liisa (MLV, %) dos substratos.....	35
Quadro 13 – Valores médios da taxa de germinação (%) nos substratos previamente fertilizados.....	36
Quadro 14 – 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.....	37
Quadro 15 – Valores médios da avaliação visual da raiz (escala de 0 a 5) das plantas de couve-chinesa dos substratos.....	38
Quadro 16 – Número médio de infestantes por vaso.....	40
Quadro 17 – Teores médios de azoto (N), potássio (K), e fósforo (P) na parte aérea das plantas de couve-chinesa (g por kg de matéria seca).....	41
Quadro 18 – Teores médios de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea das plantas de couve-chinesa (g por kg de matéria seca).....	42

Quadro 19 – Teores médios de ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e boro (B) (mg por kg de matéria seca).....	43
Quadro 20 – Teores médios de cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e crômio (Cr) (mg kg ⁻¹ de matéria seca).....	44
Quadro 21 – Teores médios de cádmio (Cd) e chumbo (Pb) (mg kg ⁻¹ de matéria fresca).....	45

Lista de abreviaturas e siglas

- ADT – Alta densidade de terras
- MLV – Índice de Vitalidade de Munoo-Liisa
- AFD – Água facilmente disponível
- AR – Água de reserva
- ADD – Água dificilmente disponível
- CE – Condutividade elétrica

1. Introdução

Tanto o pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) como o pinheiro manso (*Pinus pinea*) são espécies florestais de elevada importância no contexto florestal português, sendo que a fileira florestal representa 1,2% do PIB, o equivalente a 2317 milhões de euros (produto interno bruto) e 10% das exportações nacionais (PORDATA, 2017).

Estas espécies têm sido afetadas por uma doença, que surgiu pela primeira vez em Portugal em 2008, num viveirista, conhecida como o cancro-resinoso-do-pinheiro (*Fusarium circinatum*). O cancro-resinoso-do-pinheiro afeta ambas as espécies, reduzindo o seu potencial produtivo, podendo em alguns casos mais severos resultar na morte das árvores.

Estas espécies florestais são produzidas em viveiros, em contentores/tabuleiros constituídos por alvéolos que são preenchidos com substratos de cultivo. Em Portugal, um dos principais componentes destes substratos de cultivo é a casca de pinheiro a qual, por ser um veículo de dispersão do fungo, poderá infetar as jovens plantas ainda no viveiro. Assim, mesmo que a semente utilizada nos viveiros seja certificada e “livre” do fungo, as jovens plantas poderão ser contaminadas com o cancro-resinoso-do-pinheiro, devido, entre outros, à presença do fungo no substrato.

Assim, com o presente trabalho, pretende-se estudar a possibilidade de utilizar resíduos da indústria corticeira na formulação dos substratos para viveiros. No caso específico dos viveiros florestais, nomeadamente na produção de jovens plantas de pinheiro bravo e pinheiro manso, por terem origem no sobreiro (*Quercus suber*), uma espécie florestal não hospedeira do fungo, a utilização dos resíduos de cortiça reduz significativamente os riscos de propagação do fungo através do substrato permitindo ao mesmo tempo reduzir o uso de turfa na formulação do mesmo.

Por outro lado, com a utilização de resíduos da indústria cortiça na formulação de substratos de cultivo estamos a valorizar um material disponível no nosso país, que, atualmente, é considerado um resíduo e cuja gestão tem custos para a indústria corticeira. Do mesmo modo, dando um novo uso a um material que é considerado resíduo, estamos a contribuir para a economia circular aumentando o ciclo de vida do produto principal, a cortiça, aproximando-nos mais do objetivo da economia circular, o resíduo zero.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Fungo *Fusarium circinatum* (cancro-resinoso-do-pinheiro)

O fungo *Fusarium circinatum*, vulgarmente conhecido como cancro-resinoso-do-pinheiro, pode causar a morte de espécies do género *Pinus* e causar danos significativos a *Pseudotsuga menziessi*.

Apareceu pela primeira vez nos Estados Unidos da América em 1946 (Hepting e Roth, 1946) na Carolina do Norte, porém hoje em dia já se encontra no Chile, México, África do Sul, Japão, Espanha, Itália e Portugal. Na Europa foi detetado pela primeira vez no norte de Espanha, em 2005, só aparecendo em Portugal em Abril de 2008, num fornecedor de materiais florestais na região Centro (Bragança *et al.*, 2009).

2.1.1. Caracterização do fungo *Fusarium circinatum* e dos sintomas associados

2.1.1.1. Taxonomia

Teleomorfo: *Gibberella circinata* Nirenberg e O'Donnell

Anamorfo: *Fusarium circinatum* Nirenberg e O'Donnell

Posição sistemática: Fungi: Ascomycota: Hypocreales: Nectriaceae

Nome vulgar: Cancro-resinoso-do-pinheiro (OEPP, 2005).

2.1.1.2. Hospedeiros

O fungo ataca bastantes espécies de *Pinus* spp. (mais de 30 espécies), sejam estas tanto plantas em viveiro, como plantações jovens ou povoamentos adultos.

As diferentes espécies de *Pinus* apresentam diferentes sensibilidades ao fungo sendo que uma das mais suscetíveis é a *Pinus radiata* (Correll *et al.*, 1991).

Em Portugal, as espécies mais atacadas são o *Pinus pinea* (pinheiro manso) e o *Pinus pinaster* (pinheiro bravo) pois são, também, as que mais presença têm em Portugal (Bragança *et al.*, 2009).

2.1.1.3. Sintomas

Os sintomas podem-se manifestar em qualquer estado de desenvolvimento das plantas, podendo afetar raízes, troncos, ramos, rebentos, agulhas, pinhas e sementes (Camilli *et al.*, 2013). Os sintomas podem, também, variar dependendo da espécie de *Pinus* em questão e estão dependentes das condições bióticas e abióticas (Dwinell *et al.*, 1985; Gordon, 2006).

Em árvores adultas os sintomas mais comuns são a resinagem intensa (cancros), provocando exsudações de resina nos ramos, amarelecimento das agulhas até atingirem uma cor avermelhada, seca dos ramos e queda das agulhas, cancro e deformações no tronco, podendo mesmo culminar na morte da árvore inteira.

Nas árvores mais jovens as agulhas apresentam cor castanha/avermelhada, ocorre um encurvamento do ápice e murchidão da planta. As pinhas que se encontram em ramos doentes também podem ser afetadas, resultando no aborto destas antes de atingirem o tamanho normal (Correll *et al.* 1991), o que provoca um enorme impacto económico para produtores de pinhão (*Pinus pinea*).

Por fim, as sementes, mesmo que não apresentem sintomas, podem albergar o fungo tanto no seu interior como na sua superfície.

2.1.1.4. Biologia e Disseminação

O desenvolvimento do fungo é favorecido por temperaturas elevadas e por humidade abundante e a incidência do fungo pode também aumentar em casos de seca ou excesso de fertilização.

O desenvolvimento e dispersão do fungo podem ocorrer ao nível dos viveiros ou em árvores adultas.

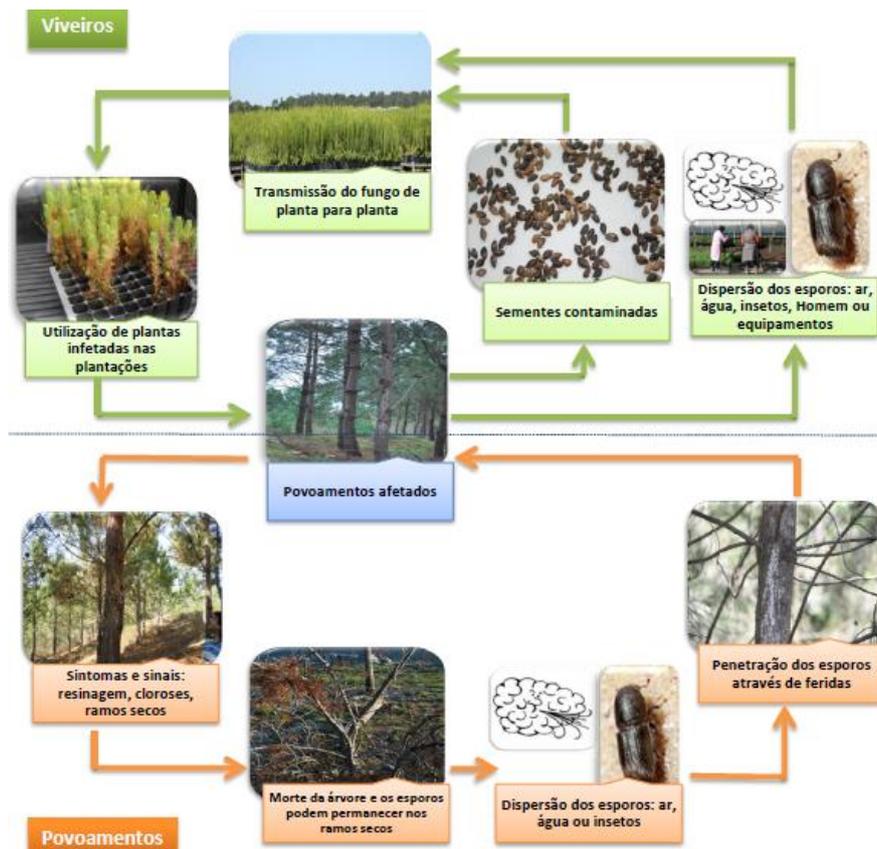


Figura 1 – Ciclo de desenvolvimento do fungo *Fusarium circinatum*. Fonte: ICNF (2013).

Nas plantas jovens, a infeção pode ocorrer a partir de sementes ou o inóculo pode estar presente no substrato de cultivo (OEPP, 2005).

Em árvores adultas, a infeção ocorre através da penetração de esporos em feridas, provocadas pelas podas ou picadas de insetos por exemplo.

A dispersão dos esporos ocorre principalmente na Primavera, Verão e início do Outono. O fungo pode sobreviver no Inverno nos resíduos vegetais. O inóculo pode ser disseminado pelo ar, água e por insetos. Porém, as principais formas de disseminação de grandes distâncias é o transporte associado ao comércio de sementes e de plantas jovens e também o comércio de madeira. Destas formas de disseminação, a que apresenta maior risco é o comércio de sementes infetadas, uma vez que nestas, o fungo não é detetável sem se recorrer a análises laboratoriais (Iturrutxa *et al.*, 2011).

Como já foi referido, também os substratos podem contribuir para a propagação do fungo pois em Portugal um dos principais componentes dos substratos é a casca de pinheiro que poderá estar por este infetada (OEPP, 2005).

Assim, as pequenas plantas produzidas em viveiro podem logo, desde muito jovens, ser infetadas pelo fungo devido à casca de pinheiro presente no substrato onde elas se desenvolvem. Desta forma, para reduzir os riscos associados à disseminação do fungo, há necessidade de encontrar no sector florestal português alternativas à casca de pinheiro para serem usados na formulação de substratos.

2.2. A floresta portuguesa e suas principais espécies

A floresta portuguesa é uma das mais antigas da Europa, ocupa cerca de 35,4% de Portugal Continental o que representa cerca de 3 200 000 hectares de área, entre 2005 e 2010 reduziu a sua área em cerca de 57 000 hectares.

Em Portugal a área arborizada é maioritariamente privada, representando cerca de 2,8 milhões de hectares, ou seja 84,2% da área é detida por pequenos proprietários sendo que existem 6,5% que são detidos por empresas industriais. As áreas públicas apenas representam 15,8% da floresta nacional dos quais só 2% (menor valor da Europa) são do domínio privado do Estado.

As principais alterações que ocorreram ao nível das principais espécies florestais em Portugal entre 1995 e 2010 são referentes ao pinheiro bravo que reduziu a sua área em 263 000 hectares fazendo com que a principal espécie nacional passe a ser o eucalipto, que neste período aumentou a sua área em 95 000 hectares. Das espécies com menos expressão em Portugal podemos também destacar a evolução do pinheiro manso que aumentou a sua área total em 46% e em termos de área arborizada aumentou 54% (ICNF, 2013).

Quadro 1 – Principais espécies florestais que ocupam a floresta portuguesa (Fonte: ICNF 2013).

Espécies Florestais	% Área Florestal	Área (ha)
Eucalipto	26	812 000
Sobreiro	23	737 000
Pinheiro Bravo	23	714 000
Azinheira	11	331 000
Pinheiro manso	6	176 000
Carvalhos	2	67 000
Castanheiro	1	41 000

2.2.1. Pinheiro (*Pinus* spp.)

2.2.1.1. Contextualização dos pinheiros em Portugal

Os pinheiros, em conjunto, ocupam a maior área florestal em Portugal continental, num total de 890 000 ha, correspondendo a 29% da área florestal nacional com pinheiro bravo a ocupar 23% e o pinheiro manso 6%.

O pinheiro bravo, *Pinus pinaster*, é a terceira espécie que ocupa mais área em Portugal continental apresentando elevada importância económica e ecológica. A distribuição geográfica desta espécie em Portugal continental ocorre da faixa litoral que vai das bacias do rio Tejo e do Sado até ao Minho, aparece também no interior, nas regiões Norte e Centro, até altitudes que podem variar dos 700 aos 900 m, preferem encostas onde se faz sentir a influência atlântica, principalmente entre as exposições Sudoeste a Norte (Oliveira e Correia 2002).

A importância económica do pinheiro bravo é indiscutível, através desta espécie podemos produzir madeira que pode ser utilizada para lenha, toragem, carvão, pasta de papel e, principalmente, para a indústria de serração, para além do lenho, produz ainda resina.

A área ocupada por esta espécie entre 1995 e 2010 diminuiu em cerca de 263 000 hectares, em que a maioria passou a ser ocupada por matos e pastagens (165 mil ha), 70 mil ha foram substituídos por eucaliptos, 13 mil ha passaram a ser espaços urbanos e 13,7 mil ha foram substituídos por outras espécies arbóreas.



Figura 2 – Zona mais adequada à plantação de *Pinus pinaster* em Portugal Continental

O Pinheiro manso, *Pinus pinea*, é típico da zona mediterrânica distribui-se por todo o país. A área ocupada é de aproximadamente 78 000 hectares, o distrito de Setúbal contem 62% de toda área ocupada por esta espécie. Os maiores povoamentos contínuos de pinheiro manso encontram-se em Alcácer do Sal.

Nos últimos anos o pinheiro manso tem vindo a ganhar importância no contexto florestal de Portugal continental, o preço do pinhão tem vindo a subir e a sua procura a aumentar sendo uma mais-valia para a economia portuguesa e para as exportações nacionais (Calado, 2012).

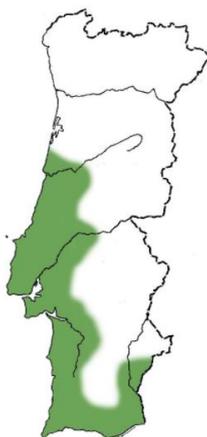


Figura 3 – Zona mais adequada à plantação de *Pinus pinea* em Portugal Continental

Ocorre de preferência em solos profundos e arenosos de regiões quentes e onde não ocorrem geadas, existem por todo o país com alguma taxa de sucesso. É uma espécie que está adaptada a zonas de cotas reduzidas mas pode ser encontrada em zonas até aos 1000 m de altitude.

Geralmente necessita de precipitações médias anuais superiores a 250 mm sendo normalmente encontrado entre os 400 e os 800 mm. Como é uma espécie mediterrânea suporta valores de temperatura que podem variar entre os -10 e os 40°C (Silva *et al.*, 2007). Existem poucos ensaios de campo relativamente à fertilização, porém existem resultados que sugerem o aumento de volume e número de pinhas em áreas de solos arenosos, com melhoramento do solo em estrutura e nutrientes com fertilizantes e matéria orgânica (Calama *et al.*, 2007).

2.2.1.2. Resíduos/subprodutos suscetíveis de uso como substrato

Casca de Pinheiro

O pinheiro bravo é essencialmente utilizado para produção de madeira enquanto o pinheiro manso para produção de pinha, mas também madeira e extração de resina (Nunes *et al.*, 1999).

A casca de pinheiro é um subproduto da indústria transformadora, que quando não é utilizada é classificada como resíduo pelo que se tem de pagar a empresas de gestão de resíduos para recolherem o material sendo do interesse dos industriais reduzir este não aproveitamento da casca.

Uma forma de reduzir este desperdício e reduzir os custos da indústria é utilizar a casca de pinheiro como matéria-prima na formulação de substratos para produção de plantas envasadas (Cunha-Queda *et al.*, 2007) mesmo que estes resíduos necessitem de compostagem e/ou envelhecimento por apresentarem pH ácido, toxicidade e relação C/N elevada, o que já tem sido estudado e já acontece em diferentes países (Nunes *et al.*, 1999). Porém quando a casca é sujeita a compostagem é necessário adicionar azoto de modo a compensar a imobilização de N e reduzir a toxicidade (Prasad, 1980).

Devido às suas propriedades físicas, a casca de pinheiro é considerada como um bom material para substituir a turfa (Bilderback *et al.*, 2013; Naasz *et al.*, 2005; Brito e Mourão, 2012; Ribeiro 2016). Para aumentar a porosidade do solo ou do substrato o composto de casca poderá também vir a ser um bom corretivo orgânico, com o qual já se obtiveram alguns casos de sucesso (Pokorny e Wetzstein, 1984).

Serradura de pinheiro

A serradura tem sido usada como substrato ou como componente de substratos (Raviv *et al.*, 1986). Normalmente quando a serradura não é sujeita a um processo de compostagem apresenta problemas de fitotoxicidade pelo que não é adequado o seu uso enquanto componente de substratos (Maas and Adamson, 1975; Worrall, 1978). Devido à fraca retenção de água que a serradura apresenta é necessário regar frequentemente e em pequenas dotações (Favaro *et al.*, 2002). Relativamente ao pH esta apresenta valores muito próximos do neutro ou moderadamente baixos (6,3-7,7), já a condutividade elétrica é bastante baixa (Prasad, 1979). Outro problema deste material é a elevada imobilização de azoto que tem de ser compensada com adição extra de azoto.

2.2.2. Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.)

2.2.2.1. Contextualização do Eucalipto em Portugal

O Eucalipto é a espécie florestal mais representada no contexto da floresta portuguesa, ocupando uma área de 812 000 há (ICNF, 2013). A área de eucalipto plantado em Portugal é a maior de toda a Europa e em termos de território chega a ultrapassar a Austrália, de onde esta espécie é originária.

Esta espécie foi introduzida em Portugal em meados do séc. XIX, em 1854 (Coutinho, 1886) ou 1859 (Pimentel, 1884), e expandiu-se sobretudo no século seguinte dando origem a uma produção industrial de pasta de papel (Radich, 1994).

A espécie *E. globulus* adaptou-se bastante bem ao clima mediterrânico, de invernos suaves mas, mesmo sendo muito resistente à seca, por ser uma árvore de crescimento rápido, necessita de uma precipitação anual média de 700 mm, e estas características em Portugal podem ser principalmente encontradas a norte do rio Tejo (Pereira, 2008).

2.2.2.2. Resíduos/subprodutos suscetíveis de uso como substrato

Casca de Eucalipto

Sendo o eucalipto a principal espécie florestal no contexto português e o seu uso predominante ser a produção de pasta de papel, todos os anos há uma enorme produção de resíduos, cerca de 500 000 toneladas de casca de eucalipto (CELPA, 2015), porém estes resíduos estão a ser utilizados apenas como biocombustível nas fábricas de produção de pasta de papel (Neiva *et al.*, 2016).

É possível utilizar a casca de eucalipto na formulação de substratos mas esta tem de ser sujeita a tratamento, nomeadamente tratamentos hidrotérmicos de modo a baixar a sua toxicidade e a aumentar a estabilidade biológica.

A casca fresca, sem tratamento, apresenta um pH de 4,9 o que para substrato está fora do intervalo pretendido (5,5-6,5) e uma condutividade elétrica de 22 mS m⁻¹ por outro lado as cascas que foram sujeitas a tratamento já apresentam pH favorável (5,5-5,8) e condutividade elétrica de 6 mS m⁻¹. Os tratamentos não afetam as propriedades físicas das cascas sendo que estas demonstraram ter baixa densidade e

disponibilidade de água e uma elevada porosidade total e arejamento superior a 80% ($v v^{-1}$) (Chemetova *et al.*, 2017).

2.2.3. Sobreiro (*Quercus suber*)

2.2.3.1. Contextualização do Sobreiro em Portugal

O Sobreiro é uma das árvores com mais relevância no contexto da floresta portuguesa, é a segunda árvore com maior expressão a nível nacional e é através desta que obtemos a cortiça pela qual somos reconhecidos a nível mundial e somos o maior produtor e transformador desta matéria-prima, tendo 60% do comércio global e as exportações ultrapassaram os 980 milhões de euros em 2017.

Atualmente o sobreiro é uma espécie típica da zona mediterrânea, tendo maior presença e aparecendo espontaneamente em Portugal e Espanha, mas também ocorre em Marrocos, Argélia, Tunísia, França e Itália (Pereira *et al.*, 2008).



Figura 4 – Zona mais adequada à plantação de *Quercus suber* em Portugal Continental.

2.2.3.2. Cortiça

A cortiça é extraída do sobreiro, uma espécie de carvalho cujo nome científico é *Quercus Suber* L., vulgarmente conhecida como a casca do sobreiro, porém cientificamente define-se como “o parênquima suberoso originado pelo meristema

súberofelodérmico do sobreiro (*Quercus suber* L.), constituindo o revestimento do seu tronco e ramos”.

A extração da cortiça conhecida como descortiçamento consiste em retirar a cortiça do tronco e ramos dos sobreiros, estas operações são realizadas manualmente por operadores especializados com recurso a uma machada (Gil, 1998). O objetivo destes operadores é retirar a cortiça sem danificar o lenho do sobreiro e em pranchas em vez de bocados de modo a valorizar a cortiça. A primeira extração de cortiça por lei só pode ocorrer quando o tronco da árvore tiver um diâmetro de 70 cm (cerca de 3 palmos) e até 1,30 metros de altura que geralmente ocorre quando a árvore tem 25 anos, nesta extração obtemos a cortiça virgem ou cortiça branca, que é bastante rugosa e irregular, a segunda extração dá-se 9 anos mais tarde onde se obtém a cortiça secundária já mais uniforme e menos rugosa do que a primeira e só na terceira extração é que se obtém a cortiça amadia quando a árvore tem cerca de 43 anos sendo que esta cortiça tem um maior valor e qualidade.

Por lei os descortiçamentos têm de ter um período mínimo de 9 anos entre cada um podendo em situações excecionais pedir-se uma licença para descortiar após 7 a 8 anos do início do ciclo (Silva, 2007). O Decreto-Lei nº 169/2001 de 25 de Maio define a legislação para a proteção do sobreiro e da azinheira.

A época para se realizar este trabalho vai desde Maio até Agosto onde as temperaturas elevadas permitem que a cortiça se separe do lenho do Sobreiro (Silva, 2007).

2.2.3.3. Características e composição da cortiça

A cortiça é um material único que possui variadas características, tais como a sua leveza, elasticidade, é praticamente impermeável, é absorvedor acústico e vibrático e isolante térmico e elétrico, é também um material inócuo e imputrescível que resiste à compressão sem expansão lateral. Devido às suas características é um material extremamente versátil com as mais diversas aplicações sendo que é utilizado em inúmeras áreas tais como a indústria alimentar, construção civil, calçado e vestuário, decoração e mobiliário, desporto (campos de futebol), entre outras (Direito, 2011).

A composição da cortiça é algo estudado desde há muito e por muitos, não há uma fórmula certa para a composição da cortiça pois esta é um material natural que varia consoante as condições em que o sobreiro se desenvolveu e pode também variar de

autor para autor devido à elevada complexidade da matriz dos seus constituintes e os métodos utilizados por estes podem não ser os mesmos, porém podemos identificar cinco grupos principais que a constituem: suberina (45%), lenhina (27%), polissacáridos (12%), taninos (6%) e ceróides (5%), os restantes 5% correspondem a cinzas (Gil, 1998).

2.2.3.4. Transformação da Cortiça

Após a extração da cortiça esta tem um período de estabilização durante 6 meses ao ar livre, quando este período termina as pranchas e os bocados de cortiça sofrem um processo de cozedura com o objetivo de limpar a cortiça, aumentar a sua espessura, diminuir a sua densidade de modo a torna-la mais elástica e macia. O processo de cozedura é realizado com água à temperatura de 100°C durante cerca de uma hora. Terminado este processo as pranchas são outra vez empilhadas ao ar livre entre 4 a 6 semanas para sofrerem mais uma vez um processo de estabilização e ficarem aplanadas, após este processo a cortiça está pronta para ser trabalhada, é feito um processo de seleção considerando a qualidade da cortiça diferenciando assim as pranchas que vão dar origem a rolhas de diferentes qualidades e a cortiça que é usada no fabrico de granulados (bocados, refugo, aparas, etc) (Direito, 2011).

2.2.3.5. Resíduos da indústria corticeira

Na indústria da cortiça existem resíduos que, por não serem reutilizados no próprio processo produtivo, têm potencial para serem valorizados. Os principais resíduos são vulgarmente designados por: “pó de cortiça”, “terras de cortiça” e “granulado ADT (alta densidade de terras)”.

O “pó de cortiça”, que resulta da indústria corticeira é o resíduo que mais se produz. Este pó pode ser utilizado no tratamento das águas rússas (efluente da indústria do azeite que tem elevada carga poluente) reduzindo a sua toxicidade e resultando num produto que é uma mais-valia pois pode ser utilizado como fertilizante (Direito, 2011). Outra utilização deste pó é o seu uso na queima de biomassa para produção de energia que é utilizada pelo próprio sector, sendo esta a maior utilização deste pó resultante da indústria (Barros, 2013).

As “terras de cortiça” são o resultado da trituração das pranchas de cortiça sem qualquer tipo de aproveitamento por parte da indústria corticeira. São provenientes da cortiça de refugo, que não pode ser usada na produção de rolhas nem de outros materiais. As “terras” são constituídas em grande parte pelas costas das pranchas de cortiça (parte exterior e escura da prancha), fazendo assim com que tenham uma elevada densidade, comparativamente com os outros tipos de resíduos de cortiça. Este resíduo não tem qualquer utilização por parte da indústria e, assim, os industriais têm de recorrer a empresas de gestão de resíduos para os recolherem, pelo que é o tipo de resíduos com maior interesse em se conseguir valorizar, o que vai permitir reduzir os custos das corticeiras e possivelmente torná-los em receitas.

Os “granulados ADT (alta densidade de terras)” têm origem na trituração de diferentes subprodutos de cortiça e derivados da brocagem de rolhas naturais, que se destinam à produção de rolhas aglomeradas. Após a trituração, o granulado obtido é crivado e separado em função da sua densidade aparente. Por ter uma densidade aparente superior à da cortiça, o “granulado ADT” terá contaminação de outros materiais (como “terra”, costas de pranchas, etc.) e, ao contrário dos granulados de baixa densidade, é rejeitado e não é utilizado no fabrico de rolhas aglomeradas.

No entanto, o “granulado ADT” tem origem em cortiça destinada ao fabrico de rolhas e que, por isso, foi sujeita ao tradicional processo de “cozimento” em água, a 98°C, durante uma hora. Este processo de “cozimento” permite limpar e melhorar as características físicas das mesmas, ao aumentar a sua porosidade, com a remoção das ceras e suberinas presentes nos poros, bem como a redução da sua toxicidade. Existem granulados ADT com diferentes granulometrias, sendo as mais comuns as granulometrias 1 a 2 mm e 0,5 a 1 mm. Este resíduo é utilizado como biomassa na produção de energia e, por vezes, também recolhido por empresas de gestão de resíduos.

2.2.3.6. Utilização da cortiça como substrato

Sendo esta uma área técnico-científica que só agora tem sido aprofundado o seu estudo, a informação disponível na bibliografia é algo escassa relativamente ao uso de cortiça enquanto substrato, seja este florestal ou hortofrutícola.

Os diferentes trabalhos encontrados, ao contrário do presente projeto, utilizam cortiça para possível uso enquanto substrato, porém, esta sofreu diversos tratamentos de

modo a alterar as suas características, tais como compostagem. No presente trabalho todos os processos que os resíduos de cortiça sofreram são inerentes aos processos normais da indústria corticeira, sem qualquer intenção de melhorar as suas propriedades enquanto substrato.

Relativamente às propriedades hidrológicas, estáticas e dinâmicas, da cortiça enquanto substrato e qual o efeito duma compostagem longa da cortiça, 4 e 7 meses, nestas propriedades foi realizado um estudo tendo sido considerada a seguinte granulometria:

- 31% < 0,5 mm
- 0,5 mm < 21% < 1 mm
- 48% > 1 mm

É difícil obter a saturação das amostras nos recipientes em 24/48 horas, pelo que foram utilizados dois métodos, o primeiro consistiu na saturação por imersão durante uma semana e o segundo na saturação ao ferver as amostras, o que retira o ar preso nos poros. A porosidade efetiva das amostras neste estudo foi de 81-83%, porém em estudos anteriores os resultados indicam uma porosidade efetiva de 84-86% (Ordovás, 1996). A densidade das amostras de cortiça aumenta com a compostagem e tem elevada estabilidade biológica. O conteúdo de água a 0,1 kPa mostrou que 48 horas de submersão é suficiente para atingir a saturação o que não é usual em substratos, isto deve-se à fervura efetuada ou imersão durante uma semana como foi referido. O aumento da capacidade de retenção de água quando é fervida ou submetida a compostagem é mais evidente em sucções acima de 1 ou 2 kPa, representa aumentos de 40 a 60% (Carmona *et al.*, 2003). O aumento da capacidade de retenção de água não pode ser explicado apenas pelos aumentos da densidade aparente e da porosidade efetiva, a fervura ou a degradação biológica durante a compostagem reduz o conteúdo de substâncias hidrofóbicas como as resinas, ceras e suberinas que são comuns das paredes celulares da cortiça, pelo que pode ajudar a explicar o aumento do conteúdo de água e molhabilidade do material depois de tratado, quando comparado com o material fresco (Carmona, 1999).

Em relação à disponibilidade de nutrientes, de diversos substratos contendo como base produtos compostados, nomeadamente resíduos de cortiça foi possível observar que o composto de cortiça foi o material que exibiu o pH mais elevado na água drenada, o que pode explicar o baixo teor de clorofila das plantas testadas, devido ao efeito das deficiências de micronutrientes. O sintoma que mais se sobressaiu foi a deficiência em ferro, resultando em cloroses intervaladas nas folhas mais jovens. Esta

hipótese da falta de ferro ser o principal fator limitante para as plantas foi suportada pela eficiência de fontes de ferro em aumentar a clorofila e a matéria orgânica nestes substratos, (Caballero *et al.*, 2009). Além disso, a aplicação de fontes de ferro, na forma de fertilizantes comerciais, ao substrato de composto de cortiça não foi suficiente para prevenir este desequilíbrio nutricional, pois os quelatos de ferro, presentes em ambos os produtos (Fe-EDTA), não eram tão eficientes como outras fontes de ferro nos outros substratos com valores de pH alto (Wik *et al.*, 2006).

Outro estudo, relativamente à utilização de um granulado de cortiça (1 mm) enquanto substrato de cobertura, afirma que este não afeta os dias até à germinação nem o número de sementes germinadas, quando comparado com vermiculite.

Relativamente às características físicas do granulado de cortiça, este apresenta uma densidade aparente de $0,16 \text{ g cm}^{-3}$, maior que a da vermiculite que é de $0,12 \text{ g cm}^{-3}$, tem uma porosidade total de 57,8% (v v^{-1}) e uma capacidade de retenção de água de 35,1%, que são valores significativamente mais baixos do que os da vermiculite que são 76,5% (v v^{-1}) e 63,4%, respetivamente (Bozzolo e Evans, 2013). Mesmo que o granulado de cortiça consiga reter menos água e que a porosidade total seja menor, em comparação com a vermiculite com o mesmo tamanho de partículas, pode-se afirmar que as características do granulado são propícias ao seu uso enquanto substrato de cobertura para germinação de sementes.

Em certas espécies de plantas, chegou mesmo a diminuir os dias até à germinação e aumentou o número de sementes germinadas, quando comparado com a vermiculite, isto pode acontecer pois a vermiculite com o tempo vai perdendo a capacidade de retenção de água (Bozzolo e Evans, 2013).

No quadro 2 apresentam-se as principais características físicas e os valores recomendados que os substratos devem apresentar relativamente às mesmas.

Quadro 2 – Valores ideais das principais características físicas dos substratos de cultivo (Fonte: De Boodt e Verdonck, 1972) .

Características físicas	Valores ideais
Porosidade total (% v v^{-1})	≥ 85
Arejamento a pF1 (% v v^{-1})	20-30
Água facilmente disponível (% v v^{-1})	20-30
Água de reserva (% v v^{-1})	4-10
Água disponível (% v v^{-1})	24-40

3. Materiais e métodos

Com o presente trabalho pretende-se valorizar e observar o desempenho de resíduos da indústria corticeira na formulação de substratos de cultivo, com o objetivo de eliminar o uso de casca de pinheiro nos substratos destinados à produção de plantas de pinheiro em viveiro, uma vez que a casca de pinheiro pode ser vetor do fungo que causa o cancro-resinoso-do-pinheiro, bem como reduzir o uso de turfa na sua formulação.

3.1. Materiais utilizados na formulação de substratos

Na formulação dos substratos avaliados neste ensaio utilizou-se turfa loira e dois tipos de resíduos de cortiça: “terras” de cortiça e granulado ADT. Nenhum destes resíduos de cortiça tem qualquer tipo de aproveitamento no processo produtivo da indústria corticeira, nem é utilizado como matéria-prima em qualquer outra indústria.

3.1.1. Turfa

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

Devido à sua acidez a turfa teve de ser previamente corrigida, foram adicionados 4 g de calcário dolomítico e 4 g de calcário calcítico por litro de turfa (8 g de calcário por litro de turfa).

3.1.2. “Terras” de Cortiça

As “terras” de cortiça resultam da trituração de cortiça de refugo (de fraca qualidade) e são maioritariamente constituídas pelas costas das pranchas de cortiça (parte escura da prancha). Trata-se de um resíduo que não é sujeito a qualquer tipo de processamento ou tratamento na unidade industrial, para além da trituração, e não tem qualquer tipo de aproveitamento na indústria corticeira, tendo os industriais que pagar a empresas de gestão de resíduos para os recolherem (figura 5).



Figura 5 – “Terras” de cortiça fornecidas pela Equipar – Indústria de Cortiça, S.A.

3.1.3. Granulado ADT

O granulado ADT (alta densidade de terras) tem origem na trituração de subprodutos de cortiça de destinada à produção de rolhas aglomeradas. No entanto, por ter uma densidade aparente superior à da cortiça, terá contaminação de outros materiais (como “terra”, costas de pranchas, etc.) e, ao contrário dos granulados de baixa densidade, o granulado ADT é rejeitado e não é utilizado no fabrico de rolhas aglomeradas. Assim, o granulado ADT tem origem em cortiça destinada ao fabrico de rolhas e que, por isso, foi sujeita ao processo de cozimento em água, a 98°C, durante uma hora. Existem granulados ADT com diferentes granulometrias, tendo-se selecionado para este ensaio a granulometria 1 a 2 mm (granulado ADT 1-2). Este resíduo é utilizado como biomassa na produção de energia e, por vezes, também recolhido por empresas de gestão de resíduos (figura 6).



Figura 6 – Granulado ADT fornecido pela Equipar – Indústria de Cortiça, S.A.

3.2. Substratos formulados e testados

Foram formulados 10 substratos, resultantes da mistura dos dois tipos de resíduos de cortiça (granulado ADT e “terras”) com a turfa, em diferentes proporções/percentagens (em volume) (quadro 3).

Quadro 3 – Composição dos diferentes substratos formulados (% em volume).

Substrato	Turfa (% em volume)	“Terras” (% em volume)	ADT (% em volume)
0T	100	0	-
25T	75	25	-
50T	50	50	-
75T	25	75	-
100T	0	100	-
0AD	100	-	0
25AD	75	-	25
50AD	50	-	50
75AD	25	-	75
100AD	0	-	100

3.3. Teste de fitotoxicidade – Ensaio de germinação de agrião em placas de Petri

A toxicidade dos substratos obtidos foi avaliada através de um ensaio de germinação de sementes de agrião (*Lepidium sativum*), em placas de Petri preenchidas com os substratos, de acordo com a Norma Europeia EN 16086-2 (CEN, 2011b).

Através do número de sementes germinadas e do comprimento das raízes do agrião de cada uma das réplicas realizadas determinou-se o índice de vitalidade de Munoo-Liisa (MLV):

$$MLV (\%) = \left(\frac{(GRs1 \cdot RLs1) + (GRs2 \cdot RLs2) + (GRs3 \cdot RLs3)}{3 \cdot (GRc \cdot RLC)} \right) \cdot 100$$

GRs1, *Grs2*, *GRs3* são as taxas de germinação, em % das 3 réplicas;

RLs1, *RLs2*, *RLs3* são o comprimento médio das raízes, em % das 3 réplicas;

GRc é a taxa de germinação, em % das 3 réplicas de controlo;

RLc é o comprimento médio das raízes, em % das 3 réplicas de controlo.

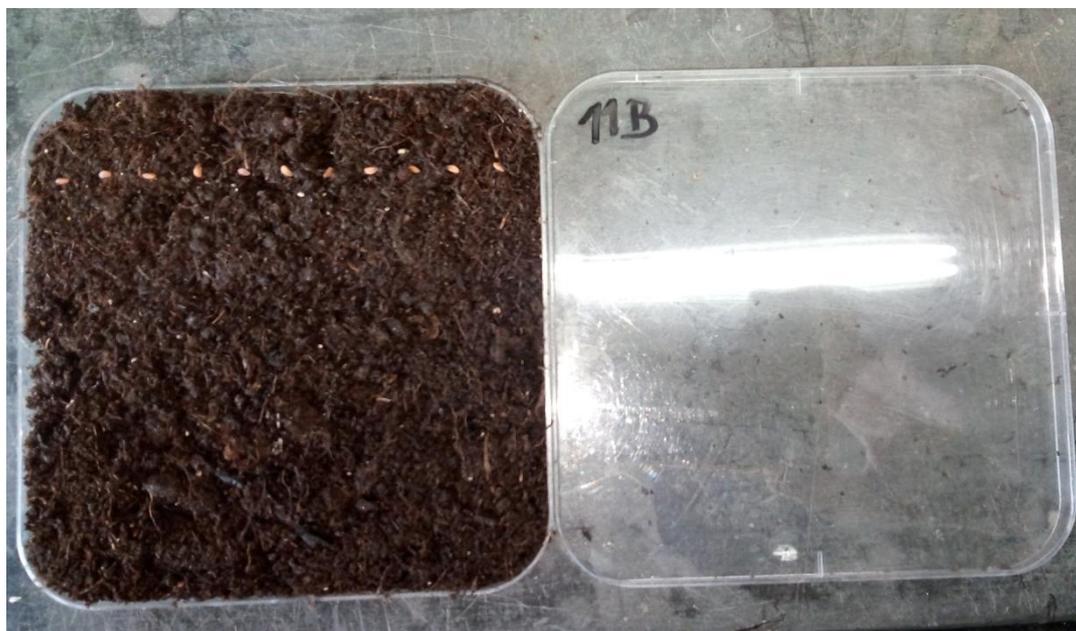


Figura 7 – Caixa de Petri contendo turfa (réplica de controlo) após a colocação das sementes de agrião para testar a fitotoxicidade.

3.4. Ensaio em vasos

Para avaliar o desempenho dos substratos formulados, foi realizado um ensaio em vasos, adaptado da Norma Europeia EN 16086-1 (CEN, 2011a), utilizando couve-chinesa (*Brassica napa*, ssp. *Pekinensis*) como planta teste, que é uma espécie bastante sensível, o que nos permite perceber se o meio em que a planta cresce é favorável ao seu desenvolvimento.

3.4.1. Fertilização

Todos os substratos utilizados neste ensaio foram fertilizados de igual forma, de acordo com a Norma Europeia EN 16086-1 (CEN, 2011a). A fertilização efetuada por litro de substrato está apresentada no quadro 4.

Quadro 4 – Fertilização efetuada, por litro de substrato.

Espécie Química	mmol/L	Espécie Química	µmol/L
NH_4^+	1	Fe	15
K^+	8	Mn	8
Ca^+	4	Zn	4
Mg^{2+}	1,5	B	25
NO_3^-	16	Cu	0,75
SO_4^{2-}	1,25	Mo	0,5
H_2PO_4	1,5		

Na fertilização utilizaram-se os seguintes reagentes laboratoriais (grau de pureza 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 monopotássico, 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, $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- Sulfato de zinco, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- Borato de sódio, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

- Sulfato de cobre, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- Molibdato de sódio, $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

3.4.2. Instalação e Condução do ensaio

No dia 14 de Março de 2018, na estufa do Horto de Química Agrícola Boaventura de Azevedo do Instituto Superior de Agronomia (Tapada da Ajuda, Lisboa), foram semeadas 10 sementes de couve-chinesa (de modo a garantir a germinação necessária para se obter matéria seca suficiente da parte aérea das plantas para se proceder à análise química das mesmas), em vasos de 400 mL de volume, cheios com 370 mL dos diferentes substratos. Utilizaram-se 4 vasos (réplicas) por cada substrato diferente, totalizando 40 vasos (4 vasos x 10 substratos).



Figura 8 – Vasos após a sementeira na estufa contendo todas as modalidades de substratos testadas no ensaio.

Os vasos foram dispostos aleatoriamente nas bancas móveis da estufa do Horto de Química Agrícola Boaventura de Azevedo, onde permaneceram até ao corte das plantas, no dia 20 de Abril de 2018, sendo regados diariamente com água desionizada.

A germinação das plantas foi contabilizada de 2 em 2 dias, de modo a saber-se a taxa de germinação em cada vaso, e para depois se poder fazer o acerto do número de plantas por vaso.

No dia 10 de Abril foi realizado o acerto de plantas, tendo-se deixado 7 plantas por vaso. Foi realizado um tratamento fitossanitário no dia 13 de Abril, devido à presença de mosquinha branca nos vasos, com imidaclopride.

No dia 20 de Abril foi realizado o corte das plantas junto à base para se poder pesar o seu peso fresco imediatamente após o corte. Nesse mesmo dia, após a pesagem dos pesos frescos das plantas, estas foram postas a secar numa estufa a 65°C durante três dias, de modo a perderem a humidade e até terem peso constante.

No dia 23 de Abril foram retiradas da estufa e foram pesadas para se obter o seu peso seco e posteriormente foram guardadas em sacos de plástico com a devida identificação para mais tarde se proceder à sua moagem para se realizar a análise dos macronutrientes, micronutrientes e metais pesados.

No mesmo dia do corte foram avaliadas as raízes das plantas. Dada a dificuldade em separar as raízes das plantas do substrato, foi feita uma avaliação visual das raízes, usando uma escala de 0 a 5, consoante o desenvolvimento das raízes.

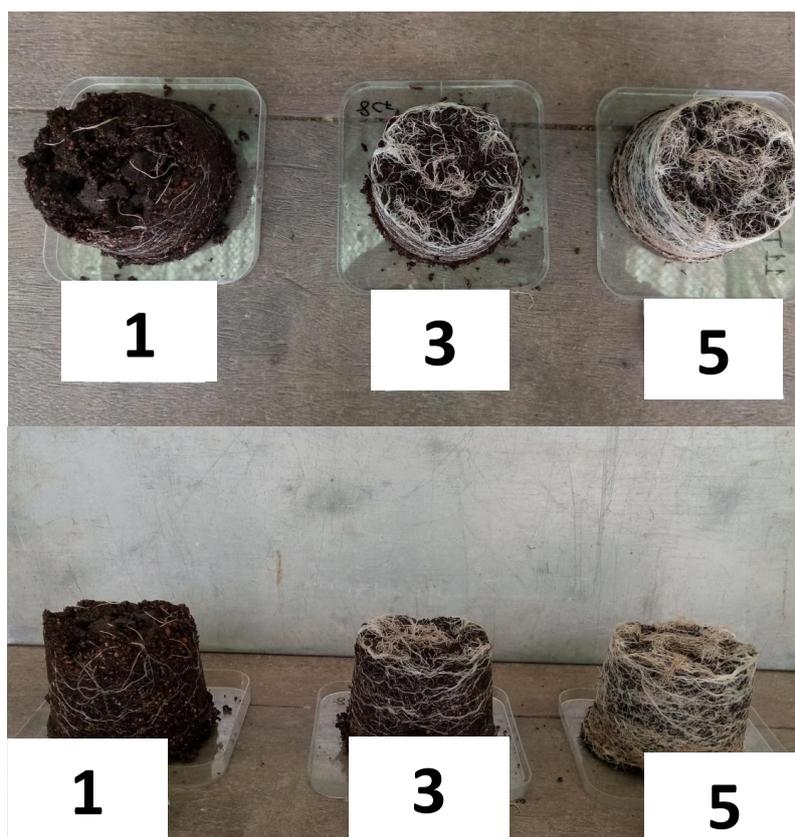


Figura 9 – Vasos usados como referencia para realizar a avaliação visual das raízes (1- pouco desenvolvimento radicular; 3- desenvolvimento radicular médio; 5- desenvolvimento radicular ótimo).

Para ter como padrão das classificações, foram escolhidos 3 vasos como comparação com os restantes, foi escolhido o vaso 20 (100T) como classificação 1, o vaso 10 (50T) como classificação 3 e o vaso 1 (0T) como classificação 5.

A classificação final é a média das duas classificações, dadas a cada vaso por duas pessoas diferentes, sem saberem qual a nota que a outra pessoa deu.

3.5. Análise de Plantas

Após a secagem das plantas, estas foram moídas, para se poder proceder à sua posterior análise.

Para se determinar o teor de azoto das plantas recorreu se ao método de Kjeldahl (Horneck e Miller, 1998). Foram pesados 0,25-0,30 gramas de cada amostra que foram digeridos com 4 mL de uma solução de ácido sulfúrico concentrado a 98% e selénio (catalisador).



Figura 10 – Digestor utilizado para determinar o teor de azoto recorrendo ao método de Kjeldahl

Após a digestão a 350 °C, juntou-se água destilada até se perfazer o volume final de 50 mL e o azoto das diferentes amostras foi quantificado recorrendo a um autoanalisador de fluxo segmentado de marca Skalar, usando o método de Berthelot (Houba *et al.*, 1989).

Para os restantes elementos minerais (macronutrientes: fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre; micronutrientes: ferro, cobre, zinco, manganês, boro, molibdénio e níquel; metais pesados: cádmio, chumbo e crómio) recorreu-se a digestão por via húmida, *aqua regia*, que é uma versão adaptada da Norma Europeia EN 13650 (CEN, 2001). Para tal foram pesadas amostras com 0,25-0,30 gramas que foram digeridas

com 9 mL de ácido clorídrico 37% (HCl) e 3 mL de ácido nítrico 65% (HNO₃) a 100 °C durante 165 minutos. Após a digestão adicionou-se água destilada até perfazer o volume de 50 mL. Após sedimentação, recolheu-se cerca de 10 mL de sobrenadante para quantificação por Espectrofotometria de Emissão Ótica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), num ICP-OES de marca Unicam (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachuset, Estados Unidos).

3.6. Caracterização física e química dos substratos

Quanto às propriedades físicas, tais como a retenção de água, porosidade total, contratilidade e arejamento, foram determinadas seguindo uma adaptação da Norma Europeia EN 13041 (CEN, 2011) e a metodologia descrita por Verdonck e Gabriels (1992).

Foram preenchidos cilindros com 100 cm³ de volume com amostras dos substratos e foram colocados numa caixa de areia (Eijkelkamp Soil & Water, Giesbeek, Holanda) de modo a serem submetidos a diferentes sucções, durante cerca de 48 horas, até se atingir o equilíbrio: 10 cm de altura de coluna de água (pF1 ou -1 kPa); 50 cm de coluna de água (pF1,7 ou -5 kPa); 100 cm de coluna de água (pF2 ou -10 kPa).

No fim de cada ciclo os cilindros contendo os substratos foram pesados. Após se atingir o equilíbrio na última sucção, pF2, as amostras foram colocadas na estufa a 100-105 °C durante 48 horas de modo a ficarem secas.

De acordo com as definições apresentadas por Verdonck e Gabriels (1992), e partindo dos valores de retenção de água às diferentes sucções (pF1, pF1,7 e pF2), calculou-se:

- Água facilmente disponível (AFD): volume de água, expresso em percentagem do volume total de substrato, correspondente à diferença entre a água retida a 10 cm de altura de coluna de água (pF1 ou -1 kPa) e a água retida a 50 cm de coluna de água (pF1,7 ou -5 kPa);
- Água de reserva (AR): volume de água, expresso em percentagem do volume total de substrato, correspondente à diferença entre a água retida a 50 cm de coluna de água (pF1,7 ou -5 kPa) e a água retida a 100 cm de coluna de água (pF2 ou -10 kPa);
- Água disponível (AD): refere-se ao somatório da água facilmente disponível e da água de reserva e representa o volume total de água presente no substrato que pode ser absorvido pelas plantas;

- Arejamento a pF1: volume de ar, expresso em percentagem do volume total de substrato, correspondente à diferença entre a porosidade total e a água retida a 10 cm de altura de coluna de água (pF1 ou -1 kPa).



Figura 11 – Cilindros preenchidos com os substratos colocados na caixa de areia (Eijkelkamp Soil & Water, Giesbeek, Holanda).

Relativamente às propriedades químicas e físico-químicas, o pH e a condutividade elétrica foram quantificados em extrato aquoso 1:5 (em volume), seguindo as Normas Europeias EN 13037 (CEN, 1999a) e EN 13038 (CEN, 1999b), respetivamente.

Após a leitura do pH e da condutividade elétrica filtrou-se soluções contidas nos frascos de 250 mL e procedeu-se à quantificação de:

- N-NO_3^- , recorrendo a espectrofotometria de absorção molecular, utilizando o método de sulfanilamida (Houba, *et al.*, 1989), num autoanalisador de fluxo segmentado de marca Skallar, modelo SANplus 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 Skallar, modelo SANplus 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);

3.7. Ensaio com pinheiro bravo e pinheiro manso

Sendo o objetivo final da investigação iniciada com este trabalho substituir a casca de pinheiro (potencial vetor de transmissão do cancro-resinoso-do-pinheiro) por resíduos de cortiça na formulação de substratos para a produção de plantas de pinheiro em viveiro, iniciou-se, também, um ensaio de produção de pinheiros em viveiro.

Assim, instalou-se um ensaio em contentores, preenchidos com diferentes substratos, onde se semeou pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) e pinheiro manso (*Pinus pinea*).

No dia 29 de Maio de 2018 foram semeadas sementes de *Pinus pinea* e *Pinus pinaster*, em alvéolos de 210 mL, que foram enchidos com 7 substratos diferentes (25T, 50T, 75T, 25AD, 50AD, 75AD e turfa), selecionados tendo em conta os resultados obtidos no ensaio com couve-chinesa, pois os substratos contendo 100% de resíduos de cortiça demonstraram não ter qualquer aptidão para o crescimento de plantas. Assim utilizámos apenas uma modalidade controlo, a turfa, em vez de duas turfas (0T e 0AD).

Cada tabuleiro (com 28 alvéolos), foi dividido em 7 “talhões” (cada um com 4 alvéolos) que foram preenchidos com os 7 substratos em estudo. Cada tabuleiro foi replicado 4 vezes para cada espécie, tendo-se utilizado um total de 8 tabuleiros e 224 alvéolos (plantas). As sementes foram cobertas com vermiculite, para haver uma cobertura mais homogénea e melhores condições para a germinação.

Todos os substratos utilizados foram fertilizados com um fertilizante de libertação controlada com a duração de 5-6 meses. Por cada litro de substrato foram pesados e adicionados 4 gramas de fertilizante. O fertilizante em questão é o "Agromaster" (15-8-16+15 MgO+25 SO₃).

Relativamente a este ensaio, devido ao crescimento relativamente lento das espécies florestais, as plantas apenas atingirão o seu tamanho final em Outubro. Por esse motivo, à data da entrega desta tese, ainda não há resultados disponíveis.



Figura 12 – Tabuleiros de alvéolos após a sementeira dos Pinheiros, em cima sem a vermiculite e em baixo com vermiculite.

3.8. Tratamento Estatístico

A análise estatística dos dados obtidos foi realizada recorrendo ao programa informático Statistix 9, onde foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e posteriormente a uma comparação de médias pelo método da diferença mínima significativa (LSD) a um nível de significância de 5% (Montgomery, 1991).

4. Resultados e Discussão

4.1. Propriedades físicas

A adição dos resíduos de cortiça à turfa teve um efeito significativo nas propriedades físicas dos substratos obtidos (quadros 5, 6 e 7). A densidade aparente (quadro 5) foi sempre aumentando à medida que se introduziu resíduos de cortiça na mistura do substrato, seja “terras” ou ADT. Este aumento da densidade aparente pode estar relacionado com a diminuição da porosidade total, tal como referido por Bunt (1983).

Todos os substratos apresentaram uma porosidade total superior a 85 % que é o valor mínimo sugerido por De Boodt e Verdonck (1972) para um substrato de cultivo.

Quadro 5 – Massa volúmica aparente (g dm^{-3}), porosidade total ($\%, \text{v v}^{-1}$) e contratilidade ($\%$) dos substratos em estudo.

Substrato	Densidade aparente (g dm^{-3})	Porosidade total ($\%, \text{v v}^{-1}$)	Contratilidade ($\%$)
Turfa	94,6 <i>g</i>	94,2 <i>a</i>	25,1 <i>a</i>
25T	139,9 <i>e</i>	91,5 <i>c</i>	23,1 <i>a</i>
50T	171,8 <i>c</i>	89,7 <i>e</i>	19,5 <i>bc</i>
75T	214,4 <i>b</i>	87,2 <i>f</i>	18,3 <i>c</i>
100T	251,1 <i>a</i>	85,3 <i>g</i>	17,2 <i>c</i>
25AD	118,7 <i>f</i>	92,6 <i>b</i>	22,6 <i>ab</i>
50AD	145,0 <i>e</i>	90,8 <i>d</i>	16,7 <i>c</i>
75AD	161,8 <i>d</i>	89,7 <i>e</i>	9,2 <i>d</i>
100AD	160,9 <i>d</i>	89,8 <i>e</i>	*

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

*Não foi possível fazer as medições do volume na modalidade 100AD

Podemos ver ainda no quadro 5 que a adição dos dois tipos de resíduos de cortiça levou a uma diminuição significativa da contratilidade dos substratos, ou seja, uma diminuição da redução do seu volume durante o processo de perda de água. A contratilidade está, frequentemente, relacionado com efeitos hidrofóbicos que surgem quando os substratos secam e é um problema principalmente grave na produção de plantas ao ar livre. Nesses casos, devido à redução do volume do substrato e à hidrofobia, a água de rega é drenada muito rapidamente, quer pelas fissuras que se formam, quer pelo espaço vazio entre a parede do vaso e o substrato (Blok *et al.*, 2008). Assim, a redução da contratilidade observada é um efeito muito positivo dos resíduos da cortiça sobre as propriedades dos substratos com turfa.

Relativamente à retenção de água (quadro 6), a turfa foi o substrato que apresentou o maior valor de retenção a pF1, observando-se, ainda, uma tendência de diminuição

deste valor à medida que se vai aumentando a percentagem de resíduos de cortiça no substrato. Relativamente à retenção de água a pF 1,7 e pF2, no caso do ADT observa-se uma tendência idêntica à referida anteriormente: uma redução da retenção de água com o aumento da percentagem de resíduo no substrato. No caso dos substratos com “terras” não se observa nenhum padrão de variação para a retenção a pF1,7, porém observa-se uma tendência de aumento da retenção de água a pF2 com o aumento da percentagem de “terras” no substrato, sendo que esta força de sucção corresponde à água dificilmente disponível.

Quadro 6 – Retenção de água (% v v⁻¹) a pF1, pF1,7 e pF2.

Substrato	Retenção de água (% v v ⁻¹)		
	pF1	pF1,7	pF2
Turfa	61,7 a	37,3 a	32,6 b
25T	54,3 b	33,6 b	30,5 cd
50T	49,7 d	34,2 b	32,3 b
75T	50,2 cd	33,9 b	32,8 ab
100T	47,3 e	34,4 b	33,8 a
25AD	51,9 c	33,9 b	30,2 cd
50AD	42,9 f	32,4 c	30,9 c
75AD	33,6 g	29,4 d	29,4 d
100AD	24,7 h	25,2 e	25,9 e

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

Como consequência do efeito dos resíduos da cortiça na retenção de água a diferentes sucções (quadro 6), relativamente à disponibilidade de água para as plantas (quadro 7) verificamos que os valores de água facilmente disponível, água de reserva e água disponível decrescem à medida que se aumenta a percentagem de resíduos na composição dos diferentes substratos, acontece tanto quando se adiciona “terras” como ADT, sendo que o decréscimo é maior no último caso. As gamas de valores adequados para AFD e AR situam-se nos 20 a 30% e 4 a 10 %, respetivamente (De Boodt e Verdonck, 1972; Abad *et al.*, 2001) pelo que apenas a turfa e o substrato 25T estão dentro do intervalo adequado para AFD, quanto à AR a turfa é o único substrato que se encontra dentro da gama de valores adequada e o valor que mais próximo está desta gama é o do substrato 25 AD (3,78 %).

No quadro 7 podemos, ainda, observar que é a turfa que apresenta menor valor de arejamento a pF1 e que a adição de resíduos de cortiça aumenta o arejamento dos substratos. Com a adição de “terras” o maior valor de arejamento foi obtido no substrato 50T, enquanto que com a adição de ADT o arejamento foi sempre

aumentando, atingindo-se o máximo no substrato 100AD, com um valor de 65% comparativamente com os 32,5% da turfa. O aumento do arejamento dos substratos à base de turfa tem sido apontado com um dos principais efeitos positivos da adição de diferentes materiais de origem florestal, como casca de pinheiro (Barrett *et al.*, 2016), casca de eucalipto (Chemetova *et al.*, 2018), fibra de madeira (Barrett *et al.*, 2016), serradura/estilha de pinho (Jackson *et al.*, 2010) e resíduo de cortiça (Bozzolo e Evans, 2013).

Quadro 7 – Arejamento a pF1 (% v v⁻¹), água facilmente disponível (AFD), água de reserva (AR) e água disponível (AD) (% v v⁻¹).

Substrato	Arejamento (%, v v ⁻¹)	AFD (%, v v ⁻¹)	AR (%, v v ⁻¹)	AD (%, v v ⁻¹)
Turfa	32,5 <i>g</i>	24,1 <i>a</i>	4,9 <i>a</i>	29,0 <i>a</i>
25T	37,3 <i>f</i>	20,6 <i>b</i>	3,2 <i>c</i>	23,8 <i>b</i>
50T	40,0 <i>de</i>	15,5 <i>d</i>	1,9 <i>d</i>	17,4 <i>d</i>
75T	37,1 <i>f</i>	16,3 <i>d</i>	1,1 <i>f</i>	17,4 <i>d</i>
100T	37,9 <i>ef</i>	12,9 <i>e</i>	0,6 <i>g</i>	13,5 <i>e</i>
25AD	40,6 <i>d</i>	17,9 <i>c</i>	3,8 <i>b</i>	21,8 <i>c</i>
50AD	47,9 <i>c</i>	10,5 <i>f</i>	1,5 <i>e</i>	11,9 <i>f</i>
75AD	56,2 <i>b</i>	4,2 <i>g</i>	-0,1 <i>h</i> *	4,2 <i>g</i>
100AD	65,1 <i>a</i>	-0,4 <i>h</i> *	-0,8 <i>i</i> *	-1,2 <i>h</i> *

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

* Os valores negativos são relativos ao erro experimental inerente ao ensaio, sendo valores residuais, devem ser considerados zero.

4.2. Propriedades Químicas

O pH dos substratos obtidos (quadro 8) esteve, de um modo geral, dentro dos valores considerados adequados para um substrato orgânico, que varia entre 5,0 e 6,5 (Landis *et al.*, 2014), o único substrato que se encontra fora deste intervalo é o 25T que, porém, está muito próximo (6,53).

Como já foi referido anteriormente em 3.1.1. o pH da turfa utilizada nos substratos foi corrigido recorrendo a 8 gramas de calcário (4 g de calcário dolomítico e 4 g de calcário calcítico) de modo a que a turfa, que era demasiado ácida, ficasse dentro dos valores pretendidos.

Quanto à condutividade elétrica (quadro 8) podemos verificar que todos os substratos apresentam valores relativamente baixos, sendo que o que apresenta maior valor é o substrato 100T, por outro lado o que apresenta menor valor é a turfa (0T e 0AD).

Estes baixos valores de CE representam uma baixa disponibilidade de nutrientes dos substratos, o que para alguns produtores é uma vantagem pois assim podem gerir a fertilização dos mesmos com uma maior liberdade (Landis *et al.*, 2014).

Tanto a adição de “terras” como de ADT à turfa provocou um aumento da condutividade elétrica nos diferentes substratos, sendo este aumento maior quando se adicionam “terras” comparativamente com o ADT.

Quadro 8 – pH e condutividade elétrica (mS cm⁻¹) dos substratos no extrato aquoso 1:5 (v v⁻¹).

Substrato	pH	Condutividade elétrica (mS cm ⁻¹)
0T	6,1 <i>d</i>	0,03 <i>g</i>
25T	6,5 <i>a</i>	0,06 <i>e</i>
50T	6,4 <i>b</i>	0,09 <i>d</i>
75T	6,3 <i>c</i>	0,14 <i>b</i>
100T	6,1 <i>d</i>	0,27 <i>a</i>
0AD	6,1 <i>d</i>	0,03 <i>g</i>
25AD	6,3 <i>c</i>	0,05 <i>f</i>
50AD	6,1 <i>d</i>	0,07 <i>e</i>
75AD	5,8 <i>e</i>	0,09 <i>d</i>
100AD	5,2 <i>f</i>	0,13 <i>c</i>
Valor recomendado	5,0-6,5	-

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

Nos seguintes quadros (9, 10 e 11) podemos encontrar os valores dos teores de nutrientes extraíveis nos substratos e os valores considerados adequados.

Relativamente ao azoto (quadro 9) todos os substratos apresentam valores bastante baixos, nenhum dos substratos se encontra dentro da gama de valores adequados, tanto para sementeiras como transplante.

Quadro 9 – 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)
0T	2.2 <i>a</i>	3.8 <i>cd</i>	6.1 <i>a</i>
25T	0.2 <i>c</i>	3.7 <i>cd</i>	3.9 <i>c</i>
50T	0.0 <i>c</i>	3.9 <i>cd</i>	3.9 <i>cd</i>
75T	0.0 <i>c</i>	4.1 <i>bc</i>	4.1 <i>bc</i>
100T	1.4 <i>ab</i>	5.2 <i>a</i>	6.6 <i>a</i>
0AD	1.7 <i>ab</i>	3.9 <i>cd</i>	5.6 <i>ab</i>
25AD	0.1 <i>c</i>	3.9 <i>cd</i>	4.0 <i>c</i>
50AD	0.9 <i>bc</i>	3.6 <i>d</i>	4.4 <i>bc</i>
75AD	0.8 <i>bc</i>	3.9 <i>cd</i>	4.7 <i>bc</i>
100AD	1.1 <i>abc</i>	4.5 <i>b</i>	5.6 <i>ab</i>
Recom.* sementeiras	50 - 200	<75	
Recom.* transplan	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).

No que diz respeito ao fósforo (quadro 10), todos os substratos apresentam valores inferiores aos adequados para sementeira e transplante. O substrato que apresenta uma maior disponibilidade de fósforo é o 100 T (18,28 mg L⁻¹), enquanto que a turfa (0T e 0AD) é quem apresenta os menores valores. A adição dos resíduos de cortiça à turfa aumenta a disponibilidade de fósforo, mas os valores obtidos são ainda baixos.

Relativamente ao potássio, verifica-se que os resíduos de cortiça aumentam significativamente a sua disponibilidade, existindo aumentos significativos e muito acentuados da disponibilidade de potássio com o aumento da percentagem de resíduos de cortiça no substrato. Verifica-se ainda, que para a mesma percentagem de resíduo de cortiça, as “terras” apresentam maiores teores de potássio.

Em termos de cálcio e magnésio, nenhum dos substratos apresenta valores adequados, tanto para sementeira como transplante, sendo os valores todos bastante inferiores ao recomendado.

Relativamente ao sódio, todos os substratos apresentam valores adequados sendo que o que apresenta maior valor é o 100T e os que apresentam menores valores são as turfas (0T e 0AD) e o 25T. Assim, os resultados indicam que não serão de prever efeitos negativos resultantes da presença de sódio nos resíduos de cortiça.

Quadro 10 – 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)
0T	0,2 <i>g</i>	4,7 <i>h</i>	19,5 <i>b</i>	4,5 <i>b</i>	6,0 <i>b</i>	6,5 <i>e</i>
25T	0,9 <i>fg</i>	96,1 <i>f</i>	14,3 <i>cd</i>	1,1 <i>d</i>	4,9 <i>c</i>	6,8 <i>e</i>
50T	3,5 <i>e</i>	147,4 <i>d</i>	12,7 <i>de</i>	1,0 <i>d</i>	3,1 <i>d</i>	8,2 <i>d</i>
75T	8,2 <i>c</i>	231,0 <i>b</i>	18,8 <i>b</i>	1,9 <i>c</i>	5,2 <i>c</i>	11,8 <i>b</i>
100T	18,3 <i>a</i>	409,9 <i>a</i>	43,1 <i>a</i>	5,1 <i>a</i>	8,8 <i>a</i>	18,3 <i>a</i>
0AD	0,1 <i>g</i>	3,9 <i>h</i>	19,7 <i>b</i>	4,6 <i>b</i>	6,3 <i>b</i>	6,3 <i>e</i>
25AD	1,3 <i>f</i>	63,9 <i>g</i>	10,7 <i>e</i>	1,2 <i>d</i>	6,1 <i>b</i>	8,0 <i>d</i>
50AD	3,1 <i>e</i>	102,1 <i>e</i>	11,9 <i>de</i>	1,1 <i>d</i>	4,5 <i>c</i>	8,7 <i>d</i>
75AD	6,3 <i>d</i>	146,1 <i>d</i>	11,9 <i>de</i>	0,9 <i>d</i>	2,9 <i>d</i>	9,9 <i>c</i>
100AD	9,4 <i>b</i>	219,9 <i>c</i>	17,7 <i>bc</i>	1,7 <i>c</i>	2,9 <i>d</i>	12,5 <i>b</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 11), os valores são baixos, em alguns casos abaixo de limite de deteção dos equipamentos. Ainda assim, há uma tendência de aumento com a adição dos resíduos de cortiça, sejam “terras” ou ADT.

Quadro 11 – 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)
0T	0,1 <i>b</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	0,0 <i>e</i>
25T	0,8 <i>ab</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	0,0 <i>ef</i>	0,1 <i>cde</i>
50T	1,1 <i>ab</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	0,1 <i>d</i>	0,1 <i>cd</i>
75T	1,4 <i>ab</i>	<i>n.d.</i>	0,0	0,2 <i>c</i>	0,2 <i>b</i>
100T	1,6 <i>ab</i>	<i>n.d.</i>	0,0	1,1 <i>a</i>	0,4 <i>a</i>
0AD	0,2 <i>b</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	0,0 <i>de</i>
25AD	0,4 <i>ab</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	0,0 <i>de</i>
50AD	0,7 <i>ab</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	0,0 <i>e</i>	0,1 <i>c</i>
75AD	0,7 <i>ab</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	0,1 <i>d</i>	0,2 <i>b</i>
100AD	1,9 <i>a</i>	0,2	<i>n.d.</i>	0,5 <i>b</i>	0,4 <i>a</i>

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

* *n.d.* – não detetável, abaixo de limite de deteção.

4.3. Teste de Fitotoxicidade

De modo a testar se os substratos que continham na sua composição resíduos de cortiça, tanto ADT como “terras”, são fitotóxicos, foi realizado em ensaio de germinação com sementes de agrião (*Lepidium sativum*), adaptado da Norma Europeia EN 16086-2 (CEN, 2011b).

De todos os substratos analisados não houve nenhum que afetasse a germinação das sementes pelo que a taxa de germinação foi de 100%.

Em relação ao crescimento das raízes a modalidade que teve melhor desempenho foi a 25T (25% “terras” + 75% Turfa) e todas as modalidades contendo “terras”, originaram resultados melhores do que as modalidades controlo (0AD e 0T).

Ainda assim, o aumento da percentagem de “terras” no substrato originou uma tendência de redução do comprimento das raízes.

Nas modalidades contendo ADT obtiveram-se bons resultados no 25AD (25% ADT + 75% Turfa) um dos melhores resultados do ensaio, bem como no 50AD (50% ADT + 50% Turfa) que originou um desempenho significativamente superior às modalidades controlo (0AD e 0T).

Porém, acima deste valor (50%) o aumento da percentagem de ADT originou uma redução acentuada e significativa do comprimento das raízes, sendo que na modalidade 100AD estas chegaram a morrer, ficando com as pontas queimadas.

Em relação ao Índice de Vitalidade de Munoo-Liisa, o padrão de variação é igual ao dos comprimentos das raízes: todos os substratos originaram valores superiores aos das modalidades de controlo (0T e 0AD), exceto o 75AD e 100AD; o aumento da percentagem de resíduo no substrato originou uma tendência de diminuição do Índice MLV.

Quadro 12 – Valores médios de germinação (%), do comprimento de raízes (cm) e valores do Índice de Vitalidade de Munoo-Liisa (MLV, %) dos substratos.

Substrato	Germinação	Comprimento raiz	MLV
	(%)	(cm)	(%)
0T	100	4,2 e	100,6 e
25T	100	7,2 a	174,8 a
50T	100	6,7 b	162,1 b
75T	100	5,5 c	134,0 c
100T	100	5,2 c	126,9 c
0AD	100	4,0 e	99,4 e
25AD	100	6,6 b	159,9 b
50AD	100	4,7 d	113,5 d
75AD	100	2,1 f	51,6 f
100AD	100	1,01 g	26,7 g

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

Deste ensaio é de realçar o bom desempenho dos substratos que contêm “terras” na sua composição, mesmo a modalidade 100T (100% de “terras”), com um desempenho melhor que a modalidade controlo, obtendo um Índice MLV de 126,94%.



Figura 13 – Diferença entre a pior e a melhor modalidade. Placas de Petri 20 (à esquerda) e placas de Petri 12 (à direita), correspondendo aos substratos 100AD e 25T, respetivamente.

Em alguns casos, nas modalidades contendo “terras” germinaram sementes de infestantes. A presença de infestantes foi, posteriormente, avaliada no ensaio em vasos.

4.4. Ensaio em vasos recorrendo a couve-chinesa

De modo a testar a resposta das plantas aos substratos formulados, foi efetuado um ensaio em vasos, com couve-chinesa (*Brassica napá*, ssp. *pekinensis*), uma planta teste usada como indicadora, adaptado da Norma Europeia EN 16086-1 (CEN, 2011a).

A partir desta tabela (quadro 13) conseguimos ver que todos os substratos apresentaram boas taxas de germinação, sendo que todos os substratos apresentam taxas equivalentes à da turfa exceto o 100T que tem uma taxa de germinação de 75%.

Quadro 13 – Valores médios da taxa de germinação (%) nos substratos previamente fertilizados.

Substrato	Taxa Germinação (%)
0T	95 <i>a</i>
25T	90 <i>ab</i>
50T	98 <i>a</i>
75T	85 <i>ab</i>
100T	75 <i>b</i>
0AD	95 <i>a</i>
25AD	90 <i>ab</i>
50AD	95 <i>a</i>
75AD	98 <i>a</i>
100AD	93 <i>a</i>

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

Olhando para o quadro 14, podemos ver que o aumento da concentração de resíduos de cortiça, sejam eles “terras” ou ADT, provocam uma diminuição do crescimento das plantas, sendo que esta diminuição se reflete no peso fresco das plantas bem como no seu peso seco. Excetuando as turfas, a modalidade que obteve melhores valores foi a 25AD tendo um peso fresco por vaso de 20,83 g.

Quadro 14 – 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	PF (g/vaso)	PS (g/vaso)	PF (g/planta)	PS (g/planta)
0T	29,8 a	3,2 b	4,3 a	0,5 b
25T	17,8 c	2,1 c	2,5 c	0,3 c
50T	13,8 d	1,7 d	1,9 d	0,2 d
75T	4,3 f	0,5 ef	0,6 f	0,1 ef
100T	2,1 fg	0,2 fg	0,3 fg	0,0 fg
0AD	29,9 a	3,6 a	4,3 a	0,5 a
25AD	20,8 b	2,3 c	2,9 b	0,3 c
50AD	9,1 e	0,8 e	1,3 e	0,1 e
75AD	0,4 g	0,0 g	0,1 g	0,0 g
100AD	0,00 g	0,0 g	0,0 g	0,0 g

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



Figura 14 – Plantas de couve-chinesa nos substratos contendo “terras” ao fim de 5 semanas. Da esquerda para a direita, vaso com substrato 0T (0% “terras”), 25T (25% “terras”), 50T (50% “terras”), 75T (75% “terras”) e 100T (100% “terras”).



Figura 15 – Plantas de couve-chinesa nos substratos contendo ADT ao fim de 5 semanas. Da esquerda para a direita, vaso com substrato 0AD (0% ADT), 25AD (25% ADT), 50AD (50% ADT), 75AD (75% ADT) e 100AD (100% ADT).

Observando o quadro 15 podemos verificar que o crescimento das raízes das plantas (avaliação visual, com escala de 0 a 5) vai diminuindo à medida que se aumenta a concentração dos resíduos de cortiça, tanto “terras” como ADT, sendo que este decréscimo é mais evidente nas percentagens mais elevadas de ADT (75 e 100%). Podemos verificar um comportamento semelhante ao da parte aérea das plantas que também sofreram decréscimos à medida que se aumentou a concentração dos resíduos de cortiça.

Quadro 15 – Valores médios da avaliação visual da raiz (escala de 0 a 5) das plantas de couve-chinesa dos substratos.

Substrato	Raiz (escala 0-5)
0T	4,9a
25T	3,9b
50T	2,9c
75T	1,6d
100T	1,0d
0AD	4,9a
25AD	4,5ab
50AD	2,6c
75AD	0,0e
100AD	0,0e

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

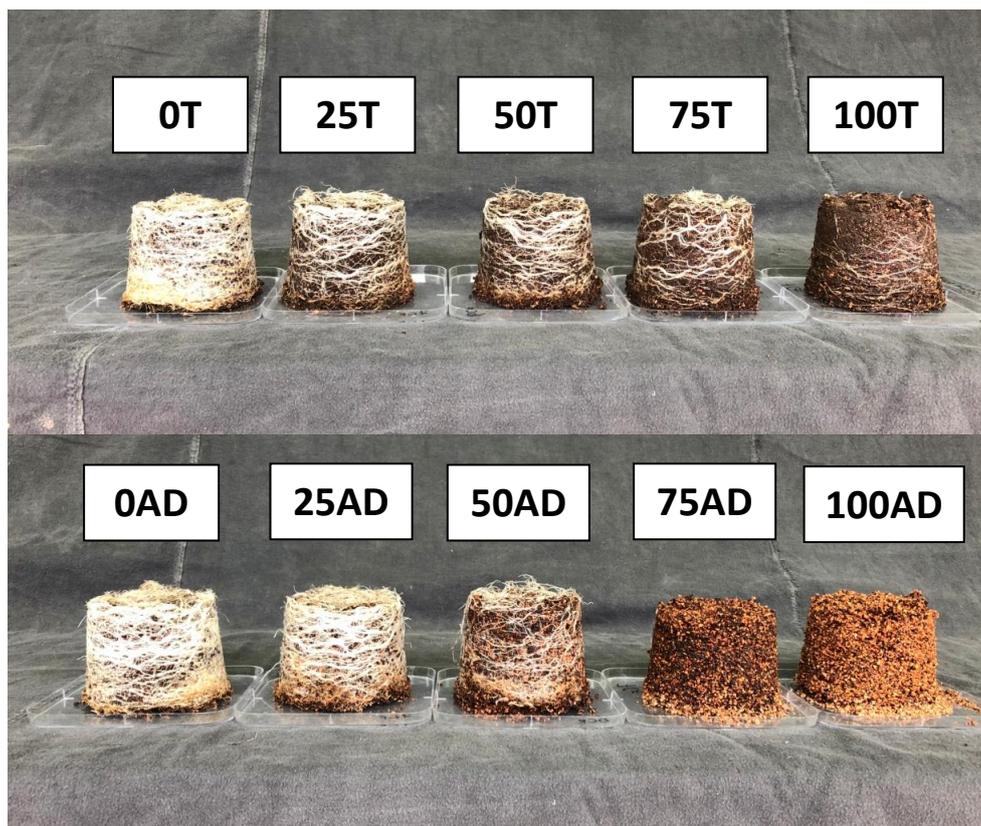


Figura 16 – Diferenças entre o desenvolvimento das raízes das plantas contendo “terras” na sua composição (cima) e das raízes das plantas contendo ADT na sua composição (baixo). 0T (0% “terras”), 25T (25% “terras”), 50T (50% “terras”), 75T (75% “terras”) e 100T (100% “terras”); 0AD (0% ADT), 25AD (25% ADT), 50AD (50% ADT), 75AD (75% ADT) e 100AD (100% ADT).

Ao longo do ensaio foi também possível observar que em alguns vasos surgiram infestantes, que se foram devidamente contabilizadas (quadro 16). As infestantes surgiram apenas nos substratos contendo “terras”, e não nos que continham ADT, e o aumento da percentagem de “terras” no substrato originou uma tendência de aumento do número médio de infestantes por vaso. Estas diferenças serão, sobretudo, devidas ao tipo de cortiça que dá origem aos resíduos. O ADT é um resíduo da cortiça que foi, previamente, sujeito a um processo de cozedura, a 98°C durante uma hora, processo esse que será suficiente para inativar as sementes que eventualmente existam nessa cortiça. Pelo contrário, as “terras” correspondem a um resíduo da cortiça que é rejeitada logo à partida, não sendo sujeita a este processo de cozedura. Por estar “contaminada” com solo/terra, a cortiça que origina este resíduo contém, naturalmente, sementes da flora existente no local onde foi obtida.

As infestantes são um problema para a utilização de “terras” como substrato, que teria que ser resolvido por parte dos industriais da cortiça, pois os viveiristas florestais não irão aceitar um material “contaminado” com infestantes.

Quadro 16 – Número médio de infestantes por vaso

Substrato	Número de infestantes por vaso
0T	0,0 ^b
25T	0,5 ^b
50T	3,0 ^a
75T	3,5 ^a
100T	4,5 ^a
0AD	0,0 ^b
25AD	0,0 ^b
50AD	0,0 ^b
75AD	0,0 ^b
100AD	0,0 ^b

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

4.5. Composição mineral da parte aérea das plantas

Em alguns substratos o reduzido crescimento das plantas devido às características dos substratos não permitiu obter matéria seca suficiente para se poder realizar a análise da composição mineral das mesmas, nomeadamente as plantas que cresceram nos substratos que continham maior percentagem de resíduos de cortiça: 75T, 100T, 75AD e 100AD.

Como podemos ver no quadro 17, relativamente aos macronutrientes principais (azoto, fósforo e potássio) estes têm comportamentos diferentes consoante o substrato em que as plantas cresceram.

O teor de azoto (quadro 17) com a adição de “terras de cortiça” vai diminuindo com o aumento da percentagem de terras. Como todos os vasos receberam a mesma fertilização e as plantas das modalidades 25T e 50T tiveram um menor crescimento, estes resultados indiciam uma eventual imobilização de azoto por parte das “terras”, fenómeno frequente quando se valorizam resíduos de origem florestal na formulação de substratos (Chemetova *et al.*, 2018). Porém, com a adição de granulado ADT o azoto nas plantas aumenta para mais do dobro (50 ADT) do seu teor comparativamente com a turfa, não se descortinando qualquer fenómeno de imobilização de azoto no caso do ADT.

O teor de fósforo é o mais reduzido dos macronutrientes principais e o seu teor aumenta com a adição dos resíduos de cortiça, sejam estes “terras” ou ADT, sendo que este aumento se verifica melhor com a adição de “terras”, porém este aumento é bastante reduzido.

Por outro lado, o teor de potássio diminui sempre com a adição dos resíduos de cortiça, de ambos os tipos, atingindo o seu menor valor no substrato 50T com um teor de 14,23 g kg⁻¹. Este é um resultado incoerente com a análise de substratos pois esses resultados mostraram que há um grande aumento do teor de potássio nos substratos quando se aumenta a concentração dos resíduos de cortiça, sejam estes ADT ou “terras”, não encontramos nenhuma justificação para esta diminuição pois parece não haver nenhum antagonismo iónico com os catiões cálcio ou magnésio.

Quadro 17 – 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	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)
0T	17 <i>b</i>	2 <i>c</i>	25 <i>a</i>
25T	13 <i>bc</i>	3 <i>b</i>	19 <i>c</i>
50T	11 <i>c</i>	4 <i>a</i>	14 <i>e</i>
0AD	13 <i>bc</i>	2 <i>c</i>	24 <i>a</i>
25AD	16 <i>b</i>	2 <i>c</i>	21 <i>b</i>
50AD	29 <i>a</i>	3 <i>b</i>	16 <i>d</i>

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

Relativamente aos macronutrientes secundários (quadro 18), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), não há uma clara tendência de aumento ou decréscimo dos teores destes nutrientes nas plantas.

Quanto ao teor de cálcio (quadro 18), este diminui com a adição de “terras”, por outro lado com adição de ADT os valores não se alteram relativamente à modalidade controlo. Assim as “terras” disponibilizam uma quantidade de cálcio inferior à que a turfa disponibiliza enquanto que o ADT disponibiliza as mesmas quantidades deste nutriente.

Os teores de magnésio tendem a aumentar ligeiramente com a adição de “terras” pelo que estas disponibilizam mais quantidade deste nutriente relativamente à modalidade controlo, porém quando se adiciona ADT a tendência é a diminuir ligeiramente.

Já o enxofre quando adicionamos “terras” tende a diminuir o seu teor, por outro lado quando se adiciona ADT este valor aumenta atingindo o seu máximo na modalidade 50AD.

Quadro 18 – Teores médios de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea das plantas de couve-chinesa (g por kg de matéria seca).

Substrato	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	S (g kg ⁻¹)
0T	4,2 a	1,9 bc	1,5 b
25T	3,5 b	2,3 b	1,2 c
50T	2,7 c	2,2 ab	1,3 bc
0AD	4,0 a	1,7 cd	1,4 b
25AD	4,3 a	1,3 d	1,4 b
50AD	4,2 a	1,5 cd	2,1 a

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

Relativamente aos micronutrientes (quadro 19) podemos verificar uma tendência de aumento de concentração destes por parte das plantas das modalidades que contêm maior percentagem de resíduos de cortiça, exceto no ferro e no zinco em que a tendência é a diminuir.

A concentração de ferro (quadro 19) encontra-se dentro dos valores adequados para todas as modalidades exceto aquelas que contêm 50% de resíduos de cortiça (50T e 50AD) apresentando valores inferiores aos adequados.

O principal fator limitante, ao nível da disponibilidade de nutrientes, dos substratos que contém cortiça é a sua deficiência em ferro (Caballero *et al.*, 2009).

Todas as modalidades apresentam valores de concentração de cobre inferiores aos adequados, o mesmo acontece com o boro.

No que diz respeito ao zinco todas as modalidades apresentam valores relativamente baixos, encontrando-se dentro dos valores de concentração considerados adequados (20 a 200 mg kg⁻¹) em folhas de couve-chinesa (Benton-Jones *et al.*, 1991).

Tal como a concentração de zinco nas plantas, também os valores da concentração de manganês se encontram todos dentro dos valores adequados, sendo que estes vão aumentando com a adição dos resíduos de cortiça na composição dos substratos.

Quadro 19 – Teores médios de ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e boro (B) (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)
0T	47,5 a	3,9 ab	43,2 a	32,8 d	16,7 cd
25T	43,7 a	2,6 abc	44,7 a	79,2 c	19,1 b
50T	33,7 c	3,4 ab	39,9 abc	92,5 b	15,7 d
0AD	42,9 ab	0,6 c	40,8 ab	32,2 d	15,3 d
25AD	40,4 abc	1,7 bc	33,1 c	87,1 bc	21,6 a
50AD	35,8 bc	4,6 a	34,2 bc	128,8 a	18,7 bc
Valores adequados*	40-200	5-25	20-200	25-200	30-100

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

* Valores recomendados na primeira folha completamente desenvolvida (Benton-Jones *et al.*, 1991).

Em relação aos restantes metais pesados (quadro 20) presentes nas folhas das plantas de couve-chinesa não foi possível observar um claro padrão de variação consoante o substrato em que as plantas de desenvolveram, pelo que não podemos afirmar que os resíduos de cortiça tenham um grande impacto na concentração destes metais nas plantas.

As concentrações destes metais pesados são bastante reduzidas em todas as modalidades, assim não nos temos de preocupar com possíveis problemas de toxicidade por estes provocada.

A gama de valores normais para o níquel em plantas varia entre 1 e 10 mg kg⁻¹ (Marschner, 1995), sendo que é considerado tóxico em plantas moderadamente tolerantes para valores superiores a 50 mg kg⁻¹ (Yusuf *et al.*, 2011) o que é um valor bastante superior aos que obtivemos que rondam os 0,3 mg kg⁻¹ pelo que não há risco de toxicidade.

Os teores de crómio nas plantas não excedem a gama de valores obtida por diferentes autores, porém segundo Nabulo *et al.*, (2012) estes valores são inferiores ao mínimo da gama por ele obtida que varia entre 1,34 e 65,2 mg kg⁻¹ de peso seco em diferentes tipos de plantas. Szolnoki e Farsang (2013) consideram um máximo de 7,36 mg kg⁻¹ de peso seco de crómio em diferentes vegetais presentes em hortas urbanas, em Lisboa foram encontrados valores de crómio de até 3,05 mg kg⁻¹ de peso seco em folhas de brássicas retiradas de hortas urbanas, sendo estes valores considerados normais segundo Leitão *et al.* (2016).

Segundo outros autores a couve (*Brassica* spp.) tem tendência para acumular cobalto (Co), níquel (Ni) e cádmio (Cd), em menor quantidade, quando se encontra num crescimento vegetativo mais desenvolvido (Hara e Sonoda, 1979). Num estudo sobre os valores médios dos metais pesados e o seu impacto nas plantas, Xian (1989), obteve valores semelhantes ou relativamente mais baixos que os outros autores.

Quadro 20 – Teores médios de cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e crómio (Cr) (mg kg⁻¹ de matéria seca).

Substrato	Cd (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Cr (mg kg ⁻¹)
0T	0,5 <i>a</i>	0,1 <i>b</i>	0,3 <i>a</i>	1,1 <i>a</i>
25T	0,4 <i>abc</i>	0,3 <i>a</i>	0,3 <i>a</i>	1,2 <i>a</i>
50T	0,3 <i>d</i>	0,3 <i>ab</i>	0,3 <i>a</i>	1,0 <i>a</i>
0AD	0,4 <i>ab</i>	0,3 <i>ab</i>	0,3 <i>a</i>	1,0 <i>a</i>
25AD	0,4 <i>bcd</i>	0,3 <i>a</i>	0,3 <i>a</i>	1,1 <i>a</i>
50AD	0,3 <i>cd</i>	0,3 <i>a</i>	0,3 <i>a</i>	1,0 <i>a</i>

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

Relativamente ao cádmio e ao chumbo (quadro 21), o Regulamento (CE) 1881/2006 da Comissão de 19 de Dezembro de 2006 e as suas posteriores alterações, particularmente o Regulamento (CE) 629/2008 da Comissão de 2 de Julho de 2008, definem teores máximos destes elementos em alimentos.

Quanto aos produtos hortícolas de folhas, os teores máximos de cádmio e chumbo definidos pelo regulamento são respetivamente 0,2 e 0,3 mg kg⁻¹ de peso fresco. Os valores obtidos neste ensaio encontram-se no quadro 21, foram convertidos de peso seco para peso fresco tendo em consideração os teores de humidade da parte aérea das plantas.

Podemos assim observar que os valores dos teores destes elementos obtidos são bastante reduzidos e que nenhum destes ultrapassa os valores máximos estabelecidos pelo regulamento.

Quadro 21 – Teores médios de cádmio (Cd) e chumbo (Pb) (mg kg^{-1} de matéria fresca).

Substrato	Cd (mg kg^{-1})	Pb (mg kg^{-1})
0T	0,05a	0,01b
25T	0,05a	0,03a
50T	0,04b	0,03a
0AD	0,05a	0,03a
25AD	0,03b	0,03a
50AD	0,03b	0,02ab
Teores máximos	0,2	0,3

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

Em conclusão, podemos assim dizer que os dois tipos de resíduos de cortiça, “terras” e ADT, têm diferentes comportamentos relativamente à disponibilidade de nutrientes tendo em conta a análise da composição mineral da parte aérea das plantas de couve-chinesa.

5. Conclusões

A conjugação dos resultados obtidos relativamente ao efeito dos resíduos de cortiça, “granulado ADT” e “terras de cortiça”, sobre: i) as características dos substratos; ii) a germinação e o crescimento radicular do agrião; iii) o crescimento de couve-chinesa em vasos e iv) a composição mineral da parte aérea das plantas de couve-chinesa, permite, em termos gerais, tirar as seguintes conclusões:

- a adição dos resíduos de cortiça à turfa originou um aumento do arejamento dos substratos obtidos e uma redução da sua contratilidade, melhorando, significativamente, estas propriedades físicas dos mesmos;
- para percentagens de resíduos de cortiça iguais ou superiores a 50% (em volume), há uma redução acentuada da retenção de água disponível para as plantas nos substratos obtidos, para valores inferiores aos recomendados;
- as “terras de cortiça”, em percentagens até 100% (em volume), não afetaram a germinação nem o crescimento das raízes de agrião, pelo que não são de recear efeitos de fitotoxicidade por parte das “terras”. O “granulado ADT”, em percentagens até 50% (em volume), também não afetou a germinação nem o desenvolvimento radicular. No entanto, acima desta percentagem houve um grande decréscimo do comprimento das raízes, indicando a existência de fitotoxicidade provocada pelo “granulado ADT”;
- a adição dos dois de resíduos de cortiça à turfa originou uma redução significativa do crescimento da planta-teste (couve-chinesa). Esta redução de crescimento poderá estar associada à redução de retenção de água disponível (“terras de cortiça” e granulado ADT), da fitotoxicidade (granulado ADT) e de uma eventual imobilização de azoto (“terras de cortiça”);
- a reduzida concentração de metais pesados nas plantas de couve-chinesa indicam que os resíduos de cortiça poderão ser utilizados com segurança na formulação de substratos, não existindo risco de contaminações com os referidos metais;
- nos vasos com substratos contendo “terras de cortiça” surgiram infestantes, em quantidades apreciáveis. A presença de sementes de infestantes inviabiliza a utilização das “terras” na formulação de substratos, pois os viveiristas nunca aceitariam um material “contaminado” com infestantes;

A couve-chinesa é utilizada como planta-teste nestes ensaios, por ser uma espécie bastante sensível. Com espécies mais rústicas e menos sensíveis, como as espécies florestais, nomeadamente os pinheiros, o decréscimo de crescimento observado na couve-chinesa poderá não ser tão pronunciado. Assim, os resultados deste trabalho indicam que os resíduos de cortiça estudados poderão ter potencial para serem utilizados na formulação de substratos para viveiros, nomeadamente, na substituição da casca de pinheiro dos substratos utilizados nos viveiros florestais. No entanto, será necessário que, em futuros trabalhos, se investiguem os seguintes aspetos:

- o comportamento de espécies de florestais, nomeadamente pinheiros, nos substratos contendo resíduos de cortiça em percentagens até 50% (em volume);
- métodos para redução/inativação das sementes de infestantes presentes nas “terras de cortiça”;
- estudo da eventualmente imobilização de azoto nas “terras de cortiça”;
- métodos para a redução da toxicidade no granulado ADT.

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): 197-200.
- Ansorena-Miner J., 1994. Sustratos, propiedades y caracterizacion, S.A. Mundi. ed. Madrid.
- APCOR, 2008. *Do sobreiro à cortiça - Um sistema sustentável*. Associação Portuguesa de Cortiça. 40pp.
- Barret, G., Alexander, P., Robinson, J., e Bragg, N., 2016. Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant systems – A review. *Scientia Horticulturae* **212**: 220-234.
- Barros C. A., 2013. Produção de Pellets para valorização de resíduos provenientes da indústria corticeira. Universidade do Minho, Escola de Engenharia.
- 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**: 43-56.
- Blok, C., De Kreij, C., Baas, R., e Wever, G., 2008. Analytical Methods Used in Soilless Cultivation. *In Soilless Culture: Theory and Practice*. Elsevier Science, pp. 245-298.
- Bozzolo A. e Evans Michael R., 2013. Efficacy of Cork Granulates as a Top Coat Substrate Component for Seed Germination as Compared to Vermiculite. *Horttechnology* **23** (1): 114-118.
- Bragança H., Diogo E., Moniz F. e Amaro P., 2009. First Report of Pitch Canker on Pines Caused by *Fusarium circinatum* in Portugal. Instituto Nacional de Recursos Biológicos.
- Brito L. M. e Mourão I., 2012. Características dos substratos para horticultura Propriedades e características dos substratos Parte I. *Agrotec* **2**: 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 **3**: 64-69.

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

Caballero,R., Pajuelo, P., Ordovás, J., Carmona, E. e Delgado A., 2009. Evaluation
and correction of nutrient availability to *Gerbera jamesonni* H. Bolus in various
compost-based growing media. *Scientia Horticulturae* **122** (2): 244-250.

Calado, N., 2012. Fileira da Pinha/Pinhão – Necessidades de Informação e
Conhecimento. UNAC - União da Floresta Mediterrânica.

Calama, R., Madrigal, G., Candela, J. A. e Montero, G., 2007, Effects of fertilization on
the production an edible forest fruit: stone pine (*Pinus pinea* L.) nuts on south-west
Andalusia. *Forest Systems* **16** (3): 241-252.

Camilli K. S., Marshall J., Don O., Gordon T. e Wood D., 2013. Pitch Canker Disease in
California. Forest Pest Management Specialists, San Luis Obispo, Ukiah, and Redding,
CA.

Carmona, E., 1999. Estudio del compost de corcho como sustrato hortícola y silvícola.
PhD Diss., Univ. Politecnica de Valencia.

Carmona, E., Ordovás, J., Moreno, M. T. e Avilés, M., 2003. Hydrological properties of
Cork Container Media. *HortScience* **38** (6): 1235-1241.

Castaño, R. e Avilés, M., 2013. Factors that Affect the Capacity of Growing Media to
Suppress Verticillium Wilt. *Acta Horticulturae* **1013**: 465-471.

CELPA, 2015. Boletim Estatístico 2015. <http://www.celipa.pt/category/boletins-estatisticos> (Acedido a 20 de Setembro de 2018).

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

CEN (1999b). 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 (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.

Chemetova C., Mota D., Fabião A., Gominho J., Ribeiro H. – 2017. Valorization of Eucalyptus globulus bark as a growing-media component for potted plants. In Lekkas D.F (ed.), Proceedings of the 15th International Conference on Environmental Science and Technology, CEST2017_00437, 5 pp. Rhodes, Greece, 31 August to 2 September 2017 (ISBN 978-960-7475-53-4).

Chemetova, C., Fabião, A., Gominho, J., e Ribeiro, H. (2018). Range analysis of Eucalyptus globulus bark low-temperature hydrothermal treatment to produce a new component for growing media industry. *Waste Management* **79**: 1–7.

Correll J. C., Gordon T. R., McCain A. H., Fox J. W., Koehler C. S., Wood D. L. e Schultz M. E., 1991. Pitch canker disease in California: pathogenicity, distribution, and canker development on Monterey pine (*Pinus radiata*). *Plant Disease* **75**: 676-682.

Coutinho, A. P., 1886. Curso de Silvicultura. Lisboa: Tipografia da Academia Real das Ciências.

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): 3213–3220.

Direto D. G., 2011. A indústria da cortiça e o seu potencial de inovação. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

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

Dwinell L. D., Barrows-Broadus J. e Kuhlman E. G., 1985. Pitch canker: adisease complex of southern pines. *Plant Disease* **69**: 270—276.

- Favaro, J. C., Buyatti M., Acosta M., 2002. Evaluacion de sustrato a base de serrín de Salicáceas (*Salix* sp.) compostado para la producción de plantines. *Invest Agrar: Prod Prot Veg* **17** (3): 367-373.
- Gil L., 1998. Cortiça: Produção, Tecnologia e Aplicação. INETI.
- Gordon T. R., 2006. Pitch canker disease of pines. *Phytopathology* **96**: 657-659.
- Hara T. e Sonoda Y., 1979. Comparison of the toxicity of heavy metals to cabbage growth. *Plant and Soil* **51**: 127-133.
- Hepting G. H. e Roth E. R., 1946. Pitch canker, a new disease of some southern pines. *Journal of Forestry* **44**: 742-744.
- 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.
- INIAP, LQARS, 2006 – *Manual de Fertilização das Culturas*. INIAP – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva.
- ICNF, 2013. IFN6 – *Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares*. 34 pp. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.
- ICNF, 2016. *Plano de ação para prospeção e erradicação do fungo Gibberella Circinata/Fusarium Circinatum: cancro-resinoso-do-pinheiro*. 23 pp. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.
- Iturritxa E., Ganley R. J., Wright J., Heppe E., Steenkamp E. T., Gordon T. R., Wingfield M. J., 2011. A genetically homogenous population of *Fusarium circinatum* causes pitch canker of *Pinus radiata* in the Basque Country, Spain. *Fungal Biology* **115** (3): pp. 288-295.
- Jackson B. E., Wright R. D. e Barnes M. C., 2010. Methods of constructing a pine tree substrate from various wood particle sizes, organic amendments and sand for desired physical properties and plant growth. *HortScience* **45**: 103-112.

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.

Maas, E.F. e Adamson, R.M., 1975. Peat, bark and sawdust mixtures for nursery substrates. *Acta Horticulturae* **50**: 147-152.

Montgomery, D. C. 1991. Design and analysis of experiments. John Wiley and Sons, Inc. New York, EUA.

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**: 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.

Neiva, D., Gominho, J., Fernandes, L., Lourenço, A., Chemetova, C., Simões, R., e Pereira, H., 2016. The Potential of Hydrothermally pretreated Industrial Barks from *E. globulus* as a Feedstock for Pulp Production. *Journal of Wood Chemistry and Technology* **36** (6): pp. 383-392.

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.

OEPP/EPPO, 2005. *Gibberella circinata*. Data sheets on quarantine pests. *OEPP/EPPO Bulletin* **35**: pp. 383-386.

Oliveira, A. C. e Correia A. V., 2002. Principais Espécies Florestais com interesse para Portugal - Zonas de influência Atlântica. *Estudos e Informação* **322** Ed. D.G.d. Florestas, Lisboa.

Ordovás J., Carmona E., Moreno M. T. e Ortega M. C., 1996. Characteristics of Internal Porosity of Cork Container Media. *HortScience* **31** (7): 1177–1179.

Pimentel, C. S., 1884. Eucalipto Globulus. Descrição, Cultura e Aproveitamento D'Esta Árvore. Lisboa: Typografia Universal.

Pokorny F. A. e Wetzstein H. Y., 1984. Internal porosity, water availability, and root penetration of bark pine particles. *HortScience* **19**: 447-449.

Prasad M., 1979. Physical properties of media for container-grown crops. I. New Zealand peats and wood wastes. *Scientia Horticulturae*. **10**: 317–323.

Prasad M., 1980. Evaluation of wood wastes as a substrate for ornamental crops watered by capillary and drip irrigation. *Acta Horticulturae*. **99**: 93–103.

Radich, M. C., 1994. Uma exótica em Portugal. *Ler história*, **25**: 11-26.

Raviv M., Chen Y. e Inbar Y., 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container-grown plants. In: Chen Y., Avnimelech Y. (eds) *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture. Developments in Plant and Soil Sciences*, **25**. Springer, Dordrecht.

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**: 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., 2016. Apontamentos de aulas da Unidade Curricular Fertilizantes e Técnicas de Fertilização. Matéria: SUBSTRATOS para cultivo sem solo I - Propriedades substratos.

Silva, J. S., 2007. Os Montados - Muito para além das árvores **3**.

Sonneveld C., van den Ende J. e van Dijk P. A., 1974. Analysis of growing media by means of 1:112 volume extract. Comm. *In Soil Science and Plant Analysis*. **5** (3): pp. 183-202.

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**: 1737.

Verdonck O. e Gabriels 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**: 169-179.

Wallach R., 2008. Physical Characteristics of Soilless Media. In: Raviv M. e Heinrich Lieth J., eds. *Soilless Culture* pp. 41-108.

Wik R. M., Fisher P. R., Kopsell D. A. e Argo W. R., 2006. Iron form and concentration affect nutrition of container-grown Pelargonium and Calibrachoa. *HortScience* **44**: 244-251.

Worrall, R. J., 1978. The use of composted wood waste as a peat substitute. *Acta Horticulturae* **82**: 79-86.

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.

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.