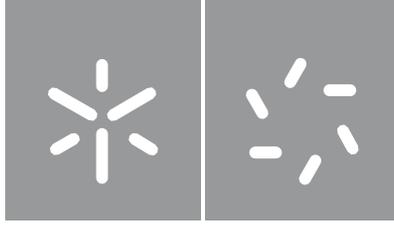


Universidade do Minho
Escola de Ciências

Ivo Miguel Branco Lima
Substratos ecológicos para coberturas
verdes

Ivo Miguel Branco Lima Substratos ecológicos para coberturas
verdes



Universidade do Minho
Escola de Ciências

Ivo Miguel Branco Lima
Substratos ecológicos para coberturas
verdes

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Biologia Molecular, Biotecnologia e
Bioempreendedorismo em plantas
Trabalho efetuado sob a orientação do(a)
Professora Doutora Isabel Aguiar Pinto Mina
Professor Doutor Fernando Castro

outubro de 2019

DECLARAÇÃO

Nome: Ivo Miguel Branco Lima

Endereço eletrónico: ivo.m.b.lima@gmail.com

Telefone: 914199992

Número do Bilhete de Identidade: 14522283

Título da dissertação: Substratos ecológicos para coberturas verdes

Orientador(es): Prof^a Isabel A. P. Mina ; Prof^o Fernando Castro

Ano de conclusão: 2019

Designação do Mestrado: Biologia Molecular, Biotecnologia e Bioempreendedorismo em plantas

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA DISSERTAÇÃO.

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, Prof^a. Isabel Aguiar Pinto Mina e Prof. Fernando Castro, docentes da Universidade do Minho, por toda a dedicação e paciência durante este ano letivo.

Agradecimento muito especial à minha colega, Vânia Pinheiro, por me acompanhar e apoiar na realização desta dissertação, por ser mais do que um exemplo a seguir a nível profissional e por acrescentar, não só interesse, mas também valor ao trabalho que tenho vindo a desenvolver.

Quero ainda agradecer, sem exceção, a todos os elementos do Laboratório de Metalurgia do Departamento de Mecânica da Universidade do Minho, por inúmeros motivos, desde a receção calorosa que me proporcionaram e pela excelente ética de trabalho até à cooperação e espírito de equipa.

Finalmente, gostaria de agradecer à minha família e amigos por toda a ajuda e tempo disponibilizados na resolução de problemas que foram surgindo ao longo deste projeto.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

A plantação em telhados e paredes teve origem na Europa, no entanto, está a tornar-se cada vez mais popular por todo o mundo. A sua divulgação e utilização tem vindo a aumentar, sobretudo, devido às suas vantagens a nível económico, ambiental e estético. Além disso, esta técnica promove o crescimento de uma vasta diversidade de espécies vegetais, que permite ainda o isolamento e a redução de manutenção dos edifícios. Os avanços tecnológicos fizeram com que este tipo de plantação se tornasse muito mais eficiente, prático e benéfico relativamente às práticas anteriores.

Esta dissertação está enquadrada no projeto EcoGreenRoof (EGR) que conta com a colaboração entre a Universidade do Minho, o CVR – Centro para a Valorização de Resíduos, a W2V – Waste to value, o iteCons – Instituto de investigação e desenvolvimento tecnológico para a construção, energia, ambiente e sustentabilidade e a Neoturf, uma empresa dedicada aos espaços verdes e coberturas ajardinadas, que opera em Portugal e no estrangeiro desde 1999. O objetivo deste trabalho foi desenvolver substratos para coberturas verdes, utilizando componentes orgânicos e/ou inorgânicos provenientes de resíduos industriais, com vista à obtenção de produtos com qualidade e baixo preço. Simultaneamente, recolhemos informações sobre a qualidade dos substratos, avaliando as biocenoses de eucariotas presentes na rizosfera das diferentes plantas.

Assim, é possível concluir que a substituição de parte dos materiais normalmente utilizados nas coberturas verdes por resíduos industriais, não apresenta efeitos negativos sobre o crescimento das plantas, tornando-os viáveis como materiais alternativos na produção de substratos ecológicos e económicos para coberturas verdes. No que diz respeito às observações das biocenoses de eucariotas, estes organismos podem ser bons bio-indicadores na implementação de coberturas verdes.

PALAVRAS-CHAVE

Coberturas verdes, resíduos, substratos, biocenose de eucariotas

ABSTRACT

Roof and wall planting originated in Europe, however, it is becoming increasingly popular around the world. Its dissemination and use have been increasing mainly due to its economic, environmental and aesthetic advantages. In addition, this technique promotes the growth of a wide diversity of plant species, which also allows isolation and maintenance reduction of buildings. Technological advances have made this type of plantation much more efficient, practical and beneficial than previous practices.

This dissertation is framed in a project of EcoGreenRoof (EGR) that relies on the collaboration between Universidade do Minho, CVR – Center for Waste Recovery, W2V – Waste to value, iteCons – Research and technological development institute for construction, energy, environment and sustainability and Neoturf, a company dedicated to green spaces and garden coverings, which has been operating in Portugal and abroad since 1999. The objective of this work was to develop substrates for green roofing, using organic and/or inorganic components from industrial waste, in order to obtain products with quality and low price. Simultaneously, we collected information on the quality of the substrates, evaluating the eukaryotic biocenoses present in the rhizosphere of different plants.

Thus, it can be concluded that the replacement of part of the materials commonly used in green roofs by industrial waste does not have negative effects on plant growth, making them viable as alternative materials in the production of ecological and economical substrates for green roofs. Regarding observations of eukaryotic biocenoses, these organisms may be good bio-indicators in the implementation of green cover.

KEYWORDS

Green roofs, wastes, substrates, eukaryotes biocenosis

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração de uma cobertura verde extensiva á esquerda, semi-intensiva no meio, e intensiva à direita. Fonte: (Screnski, 2015)	4
Figura 2. Ilustração das diferentes camadas envolvidas na construção de uma cobertura verde.	5
Figura 3. <i>Armeria welwitshii</i> no dia zero.....	14
Figura 4. <i>Festuca glauca</i> no dia zero	15
Figura 5. <i>Sedum Sediforme</i> no dia zero	15
Figura 6. Sistema improvisada para recolha da água drenada de cada vaso. Na figura, a planta é <i>Armeria welwitschii</i>	17
Figura 7. Ensaio experimentais - 1º dia.	17
Figura 8. Vasos de controlo (vaso+ substrato).....	18
Figura 9. Ensaio experimentais - dia 72	19
Figura 10. Ensaio experimentais - dia 110.....	19
Figura 11. Média da massa (g) ± desvio padrão (n=3) de <i>Armeria welwitschii</i> , <i>Festuca glauca</i> e <i>Sedum sediforme</i> , plantadas em 3 vasos com os substratos testados, passado 72 dias.	23
Figura 12. Média da massa (g) ± desvio padrão (n=3) de <i>Armeria welwitschii</i> , <i>Festuca glauca</i> e <i>Sedum sediforme</i> plantadas em 3 vasos com os substratos testados.....	24
Figura 13. Fotografia do microscópio de protozoários em campo claro. a) ciliados, ampliação de 200x. b) amebóide, ampliação de 400x	30
Figura 14. Poster apresentado na conferência WASTES realizada na Costa da Caparica: EcoGreenRoof – EGR: eco-materials development for green roofs	40

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Composição dos substratos experimentais (%).....	11
Tabela 2. Caracterização dos resíduos industriais.....	21
Tabela 3. Caracterização dos diferentes substratos experimentais.....	22
Tabela 4. Crescimento percentual dos triplicados com diferentes substratos (n=3) plantados com <i>Armeria welwitshii</i> , <i>Sedum Sediforme</i> e <i>Festuca glauca</i> ao longo do período experimental entre o dia 1 e o dia 68, 70 e 72, respetivamente (média ± desvio padrão)	23
Tabela 5. Crescimento percentual dos triplicados com diferentes substratos (n=3) plantados com <i>Armeria welwitshii</i> , <i>Sedum Sediforme</i> e <i>Festuca glauca</i> ao longo do período experimental. O período experimental destes substratos teve inicio no dia 55	24
Tabela 6. Identificação e densidade de organismos por ml, de diferentes formulações com <i>A.welwitshii</i>	25
Tabela 7. Identificação e classificação e densidade de organismos por ml de diferentes formulações com <i>Festuca glauca</i>	26
Tabela 8. Identificação e classificação e densidade de organismos por ml de diferentes formulações com <i>Sedum Sediforme</i>	28
Tabela 9. Identificação, contagem e densidade de organismos por ml, de diferentes formulações com <i>A.welwitshii</i>	41
Tabela 10. Classificação e densidade de organismos por ml de diferentes formulações com <i>Festuca glauca</i>	42
Tabela 11. Classificação e densidade de organismos por ml de diferentes formulações com <i>Sedum Sediforme</i>	43

ÍNDICE

Agradecimentos	ii
Resumo.....	iv
Abstract	v
Índice de Figuras.....	vi
Índice de Tabelas.....	vii
Índice	viii
2 Introdução.....	1
3 Material e Métodos	8
3.1 Composição dos substratos.....	8
3.1.1 Substrato técnico da Neoturf	8
3.1.2 Substrato técnico do LAAR	8
3.1.3 Resíduos Cerâmicos Refratários (Casca).....	8
3.1.4 Turfa Loira	8
3.1.5 Lã de Rocha	9
3.1.6 Areão Vulcânico.....	9
3.1.7 Argila 0-2	9
3.1.8 Argila 2-4	9
3.1.9 Casca de côco	9
3.1.10 Escórias de Ferro	9
3.1.11 Estofos	9
3.1.12 Óxido de Zinco.....	10
3.1.13 Hidróxido de Alumínio (Lamas)	10
3.1.14 Siro Agro	10
3.1.15 Enchimento verde ou branco	10
3.1.16 Composto de resíduos orgânicos	11
3.2 Caracterização dos resíduos e dos substratos.....	11
3.2.1 Determinação do teor de sais	12
3.2.2 Determinação do pH	12
3.2.3 Determinação da densidade a granel	13

3.2.4	Determinação da densidade na capacidade máxima de água.....	13
3.2.5	Determinação da absorção de água	13
3.3	Plantas Experimentais	14
3.3.1	<i>Armeria welwitschii</i> (nome comum - Erva-de-curvo).....	14
3.3.2	<i>Festuca glauca</i> (nome comum - Festuca-azul).....	14
3.3.3	<i>Sedum sediforme</i> (nome comum - Erva-pinheira)	15
3.4	Procedimento Experimental.....	16
3.5	Determinação do crescimento das plantas	18
3.6	Análise das biocenoses de eucariotas	20
4	Resultados.....	21
4.1	Caracterização dos resíduos industriais	21
4.2	Caracterização dos substratos.....	21
4.3	Desenvolvimento das plantas nos diferentes substratos.....	22
4.4	Biocenoses eucariotas de alguns substratos	25
5	Discussão e Conclusão	31
6	Referências	35
		7
	Anexos	39
A.	Publicações científicas resultantes deste projeto.....	39
B.	Identificação, contagem e densidade de organismos por ml, de diferentes formulações com <i>A.welwitshii</i> , <i>Festuca glauca</i> e <i>Sedum Sediforme</i>	41

1 INTRODUÇÃO

Uma cobertura verde é, por definição, um telhado (plano ou inclinado) que suporta vegetação, projetado para fornecer espaços verdes em zonas urbanas (Magill et al., 2011). Usualmente, uma cobertura verde inclui barreiras radiculares e sistemas de drenagem e de irrigação (Mickovski et al., 2013). A sua divulgação e utilização tem vindo a aumentar uma vez que providenciam benefícios ambientais, estéticos e económicos, promovendo ainda o crescimento de uma grande diversidade de espécies vegetais (Dunnett, 2006; Rowe, 2007)

A utilização das coberturas verdes é uma técnica antiga e remonta aos tempos dos jardins suspensos da Babilónia (Getter & Rowe, 2006), mas somente no início do século vinte é que engenheiros escandinavos começaram a utilizar casca de bétula e relva nos telhados, com o objetivo de aumentar a capacidade de isolamento térmico dos edifícios (Carson et al., 2012). As atuais coberturas verdes podem ser construídas de acordo com técnicas antigas porém, os avanços tecnológicos fizeram com que se tornassem muito mais eficientes, práticas e benéficas do que as suas ancestrais homólogas (Vijayaraghavan, 2016).

A crescente preocupação com o meio ambiente teve início na década de 1970, especialmente nas áreas urbanas da Alemanha, promovendo novas políticas e tecnologias ambientais. Assim, em 1982, a Alemanha elaborou o primeiro regulamento profissional para coberturas verdes (FLL, 2008). O guia para coberturas Verdes da FLL (do alemão, *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau*) surgiu em 1982 com os "Princípios para Coberturas Verdes". Este guia é reconhecido como o conjunto de regulamentos de referência para coberturas verdes na Alemanha, porém, atualmente é também amplamente aceite no exterior, servindo como base para o desenvolvimento nos países vizinhos dos seus próprios regulamentos (Breuning & Yanders, 2012). As diretrizes do FLL ajudam os leitores a entender a tecnologia envolvente numa cobertura verde, os diferentes tipos de coberturas verdes, a função dos sistemas ou nos componentes necessários para a construção dos mesmos. A FLL ajuda também na resolução de detalhes críticos de coberturas, na escolha de materiais de cobertura resistentes a raízes e no fornecimento de parâmetros para meios de substratos/solo adequados. Seja uma cobertura extensiva, semi-intensiva ou extensiva, qualquer aspeto é documentado de uma forma científica e lógica no Guia de coberturas verdes (Philippi, 2016).

A utilização, cada vez mais frequente, de coberturas verdes, está ligada ao facto de, para além de serem esteticamente atrativas, possuírem uma vasta lista de vantagens (Berardi et al. 2014). São espaços de recreio ativo em áreas urbanizadas onde a sua constante expansão retira espaço no solo para zonas verdes, podendo mesmo substituir as mesmas (Neoturf, 2017). O atual aumento populacional, principalmente em grandes metrópoles (UN, 2018), levou a consequências ambientais negativas, como o aumento de poluição do ar, o efeito da ilha de calor urbano ou a perda de habitats. As coberturas verdes são altamente eficientes na redução da variação da temperatura interna e na redução do nível de consumo de energia dos edifícios, tanto em climas quentes quanto frios. A utilização de coberturas verdes reduz a ação térmica dos raios solares incidentes, em cerca de 90%, permitindo uma redução entre 3 a 4° C na temperatura interior do edifício, com temperaturas exteriores na ordem dos 30° C (Bass et al., 2013). Relativamente a custos, o custo de instalação pode variar de 82 €/m² até 415 €/m² ou mais, dependendo do tipo de cobertura ajardinada que se pretende adotar, seleção de plantas, etc.. No entanto, uma simples comparação entre os custos iniciais das coberturas ajardinadas e das coberturas tradicionais não permitem analisar e avaliar a equação do custo global. As coberturas ajardinadas têm uma série de características que promovem o seu valor a longo prazo, características que não estão presentes nas coberturas tradicionais. Contudo este tipo de características que levam à diminuição dos custos a longo prazo de uma solução construtiva, ainda são atualmente, bastantes ignoradas pela maior parte dos intervenientes no processo construtivo., notando ainda a baixa ou quase nenhuma necessidade de cisternas para captação de chuva e equipamento similar, geralmente usado para a manutenção de águas pluviais (Pinto, 2014).

As coberturas verdes têm sido ainda consideradas na redução da poluição do ar. De facto, o cultivo de plantas nos telhados substitui parcialmente a vegetação destruída durante a construção (Berardi et al., 2014). Uma das maiores vantagens das coberturas verdes é a sua capacidade de redução do escoamento das águas pluviais, que leva a uma redução da carga nos sistemas de esgoto em cerca de 70-95% no verão (Vijayaraghavan, 2016). Através da biofiltração natural, os telhados verdes evitam que contaminantes e toxinas cheguem a rios e cursos de água e que cerca de 95% do chumbo, sulfureto de cobre e cádmio e 19% do zinco provenientes da água da chuva permaneçam no substrato, melhorando assim a qualidade da água local (Manfred, 2002). A utilização deste tipo de cobertura, ajuda ainda a reduzir a quantidade de CO₂ no ar, que é considerado um dos gases que mais contribui para o

aquecimento global. Uma cobertura verde de 1m² pode absorver 5kg de CO₂, anualmente. Além disso, devido ao reduzido consumo de energia necessária para a manutenção de uma cobertura verde, há um impacto adicional na redução de CO₂ em 3,2kg por ano. Comparativamente, 1m² de telhado verde pode absorver a mesma quantidade de CO₂ que um carro normal emitiria durante uma viagem de 80km (Pinto, 2014).

A necessidade de maior diversidade funcional de coberturas verdes levou à definição de 3 tipologias distintas - **intensiva**, **semi-intensiva** e **extensiva** - considerando principalmente, a espessura da cobertura, o tipo de substrato da camada para crescimento da vegetação, o tipo de plantas e os requisitos para sua manutenção (Santos & Gouveia, 2014).

As coberturas verdes **intensivas** (Figura 1) têm uma camada de substrato espessa (entre os 20 a 30cm), são mais pesadas e possuem uma grande variedade de plantas, o que implica uma manutenção mais frequente, tornando-se assim na tipologia mais cara. As plantas utilizadas neste tipo de cobertura podem incluir arbustos ou até mesmo árvores de pequeno porte em função da espessura do substrato (Berndtsson, 2010).

As coberturas verdes **extensivas** (Figura 1) são caracterizadas por uma camada de substrato mais estreita (entre os 4 e os 15cm), dependendo do tipo de planta. São mais leves e não necessitam de manutenção frequente, tornando-as mais rentáveis em termos de custos associados. Como a camada de substrato é pouco espessa, as coberturas extensivas apenas podem acomodar um tipo limitado de vegetação, como gramíneas, musgos e algumas suculentas. Um sistema extensivo de coberturas verdes é usualmente utilizado em situações em que não é necessário um suporte estrutural adicional. Para coberturas verdes pouco exigentes em água e manutenção, as plantas mais utilizadas são as suculentas e as gramíneas, pois possuem várias características que as tornam resistentes a grandes períodos de seca (Anico, 2016).

As coberturas verdes **semi-intensivas** (Figura 1) são aquelas que com uma moderada a espessa camada de substrato (12-30cm), permitem acomodar pequenas plantas herbáceas, gramíneas e pequenos arbustos, requerendo desta forma, uma manutenção frequente e consequente custo associado mais elevado.

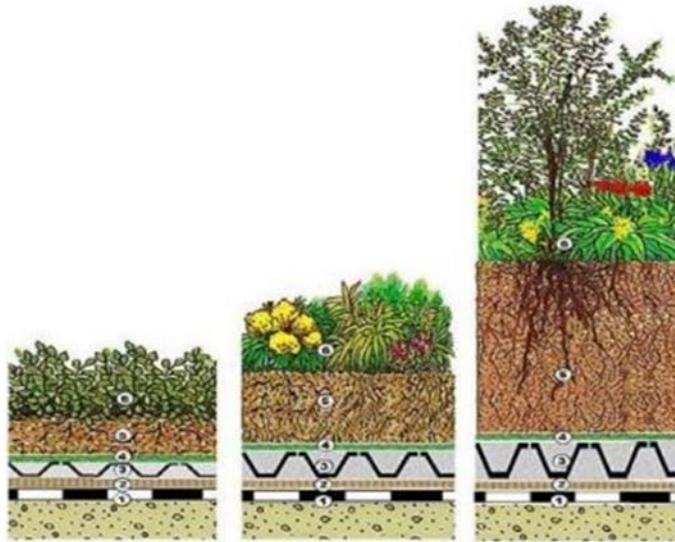


Figura 1. Ilustração de uma cobertura verde extensiva á esquerda, semi-intensiva no meio, e intensiva à direita. Fonte: (Screnski, 2015)

Tendo em conta as características apelativas relativamente ao baixo peso e ao baixo custo de construção e manutenção, as coberturas verdes extensivas são as mais utilizadas (Lata et al., 2018).

As coberturas verdes são habitualmente compostas por várias camadas (Figura 2). Na parte superior do telhado propriamente dito, onde a cobertura será desenvolvida, é colocada uma membrana à prova de água, para que o telhado fique protegido da humidade, seguida por uma barreira contra raízes, para evitar que cresçam em direção ao telhado, o sistema de drenagem de água, o tecido permeável, o substrato e a vegetação que será utilizada (Berndtsson, 2010).

AS CAMADAS DE UM TELHADO VERDE



Figura 2. Ilustração das diferentes camadas envolvidas na construção de uma cobertura verde.

Fonte: (Forte, 2018)

A composição dos substratos para crescimento da vegetação deve ser adequada a cada projeto tendo em conta, entre outros fatores, a localização e tipo de cobertura verde e o tipo de plantas a utilizar, devendo respeitar padrões estabelecidos. As propriedades dos substratos dos telhados verdes exercem uma grande influência na capacidade de retenção de água (Dunnett et al., 2008; Vanwoert et al., 2005) assim como na limpeza da água (Berghage et al., 2008; Hunt et al., 2006). Os substratos a serem utilizados em coberturas verdes devem ser leves para atender às restrições de peso das estruturas dos edifícios, proporcionar boa drenagem para canalizar o excesso de água do telhado, ter um baixo conteúdo orgânico para impedir a decomposição e o colapso da camada de crescimento e por fim devem garantir eficácia quanto ao crescimento vegetativo (Emilsson et al., 2006). Geralmente, os substratos utilizados em coberturas verdes abrangem uma única camada composta por uma mistura de matéria orgânica (como por exemplo, húmus amadurecido e estabilizado, turfa loira e turfa de coco) e matéria inorgânica (como por exemplo, perlita, tijolos triturados, rochas vulcânicas ou argila expandida) (Morgan et al., 2013).

Nas coberturas verdes, os substratos têm que substituir e desempenhar o papel do solo para que haja crescimento vegetativo (Sutton, 2015) possibilitando assim o fornecimento de humidade, de nutrientes e suporte físico às plantas.

Analisando a literatura, é possível encontrar alguns estudos sobre novos materiais para substratos que mostram, por exemplo, a utilização de resíduos de borracha provenientes

de pneus reciclados como material alternativo em coberturas verdes extensivas(Molineux et al., 2009; Solano et al., 2012).

Os componentes minerais utilizados no substrato são fornecidos numa ampla variedade de tamanhos de partículas que afetam diretamente as propriedades físicas deste e, por consequência, o crescimento e o desempenho das plantas(Kolb et al., 1982) (Graceson et al., 2014). Da mesma forma, o tipo de matéria orgânica utilizada nas coberturas verdes, exerce uma grande influência na quantidade de nutrientes disponíveis afetando o crescimento e desempenho das plantas (Nagase & Dunnett, 2011). Vários outros estudos (Emilsson, 2008; Farrell et al., 2012; Kotsiris et al., 2012; Rowe et al., 2006) já foram realizados, porém, os efeitos de componentes individuais do substrato (por exemplo, conteúdo mineral, tipo de matéria orgânica, aditivos artificiais e/ou proporções de mistura) sobre o crescimento e o desempenho fisiológico da vegetação são pouco conhecidos (Dvorak & Volder, 2010; Ouldboukhitine & Djedjig, 2012).

Componentes orgânicos e inorgânicos dos substratos podem ser substituídos por materiais reciclados (Chen et al., 2018). No que diz respeito a componentes orgânicos, é possível substituir por composto ou adubo verde, e/ou lamas de águas residuais, por outro lado, como componentes inorgânicos podem ser utilizados restos de tijolos e ladrilhos, resíduos de papel (Molineux et al., 2009) assim como resíduos industriais (areias de fundição, escórias, materiais refratários e lodos). Os substratos demonstraram influenciar a qualidade da água que os atravessa e, portanto, a utilização de materiais reciclados deve considerar, não apenas os seus efeitos nas plantas, mas também na qualidade do lixiviado. Espera-se que um substrato ideal beneficie o crescimento das plantas e simultaneamente produza poucos contaminantes (Chen et al., 2018).

Já existem alguns estudos sobre a biodiversidade presente em coberturas verdes (Berndtsson, 2010), mas ainda existem lacunas na sua pesquisa. Por exemplo, não há informações sobre o estudo das biocenoses de eucariontes da rizosfera, isto é, comunidades de microrganismos presentes na vizinhança das raízes. Os protistas são dos eucariotas mais diversos (Adl et al., 2012) e apesar da sua diversidade no solo ser, pelo menos, equivalente à dos ecossistemas aquáticos (Bates et al., 2013) têm recebido pouca atenção em estudos científicos referentes ao solo, especialmente em comparação com bactérias, fungos e nematodes. No entanto, os protistas regulam processos essenciais de fertilidade dos solos, como os ciclos de nutrientes e o crescimento de plantas (Geisen et al., 2017).

A região do solo onde as raízes das plantas se desenvolvem, pouco abaixo da superfície, é chamada de rizosfera (Bacelar Nicolau, 2016). É uma zona rica em microrganismos, entre os quais se destacam diversas bactérias que utilizam substâncias orgânicas (açúcares, ácidos orgânicos, etc), libertadas pelas raízes, como fonte de carbono e energia para o seu crescimento e reprodução (Lynch, 2012).

A estimulação do crescimento microbiano pelas raízes é conhecida como 'efeito rizosfera' (Bacelar Nicolau, 2016). O estudo dessa relação de simbiose entre bactérias e plantas revelou mecanismos capazes de degradar poluentes presentes no solo com menor prejuízo para o meio ambiente e custo mais baixo. Os microrganismos podem produzir uma vasta gama de metabolitos (Baldotto, 2014), sendo que alguns destes foram considerados importantes na regulação do crescimento das plantas. Os exemplos mais conhecidos de metabolitos envolvidos na regulação são o etileno, as giberelinas, as auxinas e as citocininas. Dependendo da concentração disponível na rizosfera, esses metabolitos estimulam ou inibem o crescimento das plantas. Os principais fatores que governam a atividade da rizosfera são a temperatura, a disponibilidade de água e de oxigênio, o pH e a própria estrutura do solo. (Lynch, 2012).

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver substratos para coberturas verdes, utilizando como componentes orgânicos e/ou inorgânicos resíduos industriais, com vista à obtenção de produtos com qualidade elevada e baixo preço. O estudo das biocenoses de eucariotas presentes na rizosfera das diferentes plantas testadas nos substratos experimentais, teve por objetivo recolher informações sobre a qualidade dos substratos, avaliando as relações entre estes organismos e o crescimento das plantas, bem como da qualidade da água lixiviada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os substratos a estudar foram produzidos a partir de quantidades específicas de resíduos industriais de forma a substituir os componentes atualmente utilizados em coberturas verdes, como areão vulcânico, argila expandida ou turfa.

2.1 Composição dos substratos

Foram produzidos 15 (+ 2 controlos) substratos de diferente composição (Tabela 1). Os substratos a testar foram elaborados a partir de diferentes componentes em determinada concentração. Os componentes utilizados foram:

2.1.1 Substrato técnico da Neoturf

Substrato usualmente utilizado na implementação de coberturas verdes pela empresa Neoturf. Adquirido à empresa Landlab, o substrato é composto por 25% de Siro Agro, 10% de turfa loira, 15% de casca de côco, 15% de areão vulcânico, 20% de argila 0-2 e 15% de argila 2-4.

2.1.2 Substrato técnico do LAAR

Substrato produzido no laboratório de análise de águas residuais, de maneira a recriar a composição do substrato técnico da Neoturf.

2.1.3 Resíduos Cerâmicos Refratários (Casca)

Os resíduos cerâmicos resultantes dos moldes utilizados nos processos de fundição da indústria metalúrgica são compostos essencialmente por sílica, alumínio e zircónia. Estes resíduos são vulgarmente conhecidos por cascas.

2.1.4 Turfa Loira

As turfas têm pH ácido, densidade baixa, retêm muita água facilmente utilizável (sendo esta a sua característica mais importante e que determina a sua ampla utilização na constituição de substratos para propagação de plantas) e têm uma capacidade de arejamento variável.

2.1.5 Lã de Rocha

Resíduo de material de construção e demolição, proveniente de restos de mantas de lã de rocha, utilizado como material isolante em paredes de edifícios. Não se encontra normalmente contaminado.

2.1.6 Areão Vulcânico

Possui uma composição diferente do que a areia rica em quartzo encontrada normalmente. Olivina, piroxenas e magnetitas são os minerais mais característicos da maioria dos depósitos de areia vulcânica. O areão vulcânico é também conhecido por favorecer o crescimento vegetativo.

2.1.7 Argila 0-2

Agregado leve de argila que é expandida em forno rotativo a 1200°C. É um produto natural, leve, resistente, incombustível, não inflamável e inalterável com o tempo. As propriedades mecânicas e físicas do agregado, tornam-no indicado para utilização em elementos pré-fabricados com características especiais.

2.1.8 Argila 2-4

Agregado leve de argila semelhante à argila 0-2, com diferença no diâmetro.

2.1.9 Casca de côco

É um material de difícil decomposição, levando mais de 8 anos para se decompôr. Utilizado no solo como adubo orgânico, favorece, também, a proliferação de vetores de doenças, contaminação do solo e corpos de água.

2.1.10 Escórias de Ferro

Resultam do material que sobrenada o ferro líquido, durante a fundição do mineral. As escórias de ferro são constituídas principalmente por silicatos, ricos em ferro.

2.1.11 Estofos

Obtidos a partir dos resíduos da Indústria automóvel, derivados da produção de peças em espuma, provenientes de restos derivados de cortes. São resíduos poliméricos à base de poliuretano.

Foram utilizados 4 tipos de estofos:

Tipo 1. Tecido preto com duas camadas. Uma camada preta de espuma compacta de 2mm de espessura e uma camada cinzenta de espuma fina e rija de 1mm.

Tipo 2: Tecido cinzento com duas camadas. Uma camada cinzenta de espuma muito mole e maleável de 2,5mm e uma película branca muito fina com 0,5mm.

Tipo 3: Tecido branco com duas camadas. Uma camada de espuma volumosa, maleável e mole de 2,5mm e uma película branca muito fina de 1mm.

Tipo 4: Tecido branco e preto com quatro camadas. Uma camada de espuma mole e maleável de 2,5mm entre duas películas brancas de 0,5mm. A camada superior trata-se de tecido sintético a imitar pele de animal com uma espessura de 1mm.

2.1.12 Óxido de Zinco

Resíduos sólidos provenientes da galvanização de metais e de despoeiramento de fornos.

2.1.13 Hidróxido de Alumínio (Lamas)

É uma lama que resulta do tratamento de efluentes de anodização de alumínio. Contém fundamentalmente hidróxido de alumínio, tendo como principal contaminante o sulfato de sódio.

2.1.14 Siro Agro

Siro Agro é um corretivo composto maturado proveniente de 80% de húmus de casca de pinho e 20% de húmus de biomassa florestal.

2.1.15 Enchimento verde ou branco

É designado por “enchimento” o material utilizado para preencher os espaços vazios em caixas de transporte. Foram caracterizados separadamente, um enchimento branco e um enchimento verde, porque apesar de ambos serem de poliestireno expandido, têm diferentes características físicas. Por serem materiais inertes com grande capacidade de absorção de

água, estes resíduos poliméricos podem ser interessantes, embora a baixa densidade que os caracteriza, possa limitar a sua aplicação na formulação dos substratos.

2.1.16 Composto de resíduos orgânicos

Trata-se de um corretivo orgânico de solos, proveniente do processo de compostagem de materiais biodegradáveis, através da fermentação aeróbica rigorosamente controlada e em condições específicas de arejamento, temperatura e humidade. O processo biológico de transformação de matéria orgânica é efetuado por bactérias e fungos.

Tabela 1. Composição dos substratos experimentais (%).

Substrato	Sigla	Siro Agro 1	Turfa loira	Coco peat	Areão vulcânico	Argila 0-2	Argila 2-4	Cascas	Escórias Fe	Lamas Al	Ox Zn	Composto Resinorte
0N	Neo	25	10	15	15	20	15	0	0	0	0	0
0L	Lab	25	10	15	15	20	15	0	0	0	0	0
1	Esc10	25	10	15	15	15	10	0	10	0	0	0
2	Esc20	25	10	15	15	0	15	0	20	0	0	0
3	LAA1	25	10	15	15	20	14	0	0	1	0	0
4	LAA2	25	10	15	15	20	13	0	0	2	0	0
5	OZn1	25	10	15	15	20	14	0	0	0	1	0
6	OZn2	25	10	15	15	20	13	0	0	0	2	0
7	Com25	0	10	15	15	20	15	0	0	0	0	25
8	Com12,5	12,5	10	15	15	20	15	0	0	0	0	12,5
9	Cas15	25	10	15	15	20	0	15	0	0	0	0
10	Esc15	25	10	15	15	20	0	0	15	0	0	0
11	Cas20	25	10	15	15	0	15	20	0	0	0	0
12	Cas10	25	10	15	15	15	10	10	0	0	0	0
13	Cas50	25	10	15	0	0	0	50	0	0	0	0
14	Esc50	25	10	15	0	0	0	0	50	0	0	0
15	CCT	0	20	0	0	0	0	50	0	0	0	30

Nota (Neo- Substrato comercial; Lab- Substrato fabricado em laboratório; Esc- Escórias de ferro; LAA- Lamas de alumínio; Ozn- Óxido de zinco; Com- Composto; Casc- Cascas; CCT – Cascas, Composto e Turfa)

2.2 Caracterização dos resíduos e dos substratos

Os resíduos e os 17 substratos foram caracterizados para as seguintes propriedades: teor de sais (g/L), pH, densidade a granel (kg/L), densidade na capacidade máxima de água

(kg/L) e absorção de água (%). Os valores têm de respeitar as especificações presentes no guia para as coberturas verdes (FLL, 2008).

2.2.1 Determinação do teor de sais

O limite máximo do teor de sais, segundo o guia para as coberturas verdes, é de 3,5g/L. A determinação quantitativa do teor total de sais presente nos resíduos e nos substratos estudados foi feita de acordo com o método B16 T, um método descrito pela SABS (do inglês, *South African Bureau of Standards*). A SABS funciona como uma plataforma para serviços e produtos de qualidade com o objetivo de contribuir para um funcionamento melhorado da economia da África do Sul.

Preparam-se amostras de cada um dos resíduos e dos substratos. Em frascos de plástico (500ml) colocaram-se 20g de resíduo e 400ml de água destilada. Num agitador mecânico rotativo a 26-40 rotações por minuto (rpm), as amostras permaneceram durante 24 horas.

As amostras foram então filtradas através de um filtro de 3-5µm de porosidade e 100ml de filtrado recolhidos para gobelés previamente pesados e colocados numa estufa à temperatura de 105°C durante 12 horas. Após este período os gobelés foram, novamente, pesados e o teor de sais foi determinado através da seguinte equação:

$$C \left(\frac{g}{L} \right) = \frac{m(\text{final gobelé} - \text{inicial gobelé})}{V(100 \text{ ml})} \times 1000,$$

onde C é a concentração de sais presentes (g/L), m é a massa (kg) e V é volume de filtrado (ml).

2.2.2 Determinação do pH

Segundo o guia FLL, o pH deve variar entre 6,0 e 8,5. Seguiu-se o método 9045 C do SABS. De acordo com este método, 20g de resíduo ou substrato foram colocadas num gobelé com 20ml de água destilada. O gobelé foi mantido num agitador eletromagnético (SBS A-06) durante 5 minutos, sendo então a água decantada para um novo gobelé para facilitar a medição do pH com um potenciómetro (Crison micropH2000). Entre cada medição a sonda foi lavada com água destilada.

2.2.3 Determinação da densidade a granel

Para a densidade a granel, não existem especificações a cumprir (FLL, 2008). Em gobelés de 1000ml, previamente pesados, colocaram-se 500ml de resíduo ou substrato. O peso de cada gobelé foi registado antes e após a colocação dos resíduos. A densidade a granel foi determinada de acordo com a equação:

$$d \left(\frac{kg}{L} \right) = \frac{m \text{ (gobelé com o resíduo-gobelé)}}{0,5},$$

onde d é a densidade do resíduo/substrato saturado de água (kg/L) e m, a massa (kg).

2.2.4 Determinação da densidade na capacidade máxima de água

Para a densidade na capacidade máxima de água, não existem especificações a cumprir (FLL, 2008). Utilizaram-se os gobelés, assim como os cálculos recolhidos na análise referida anteriormente. Encheu-se cada um dos gobelés com água destilada até que o resíduo ou substrato em estudo ficasse completamente encharcado e submerso, permanecendo desta forma durante 24 horas. Ao fim de 24 horas verteu-se o conteúdo para um peneiro (0,355mm) para que a água em excesso fosse escoada durante 5 minutos.

Após secagem do gobelé, o mesmo foi pesado juntamente com o resíduo/substrato e a densidade na capacidade máxima de água foi determinada de acordo com a equação:

$$d \left(\frac{kg}{L} \right) = \frac{m \text{ (gobelé com o resíduo húmido-gobelé)}}{V_{final}},$$

onde d é densidade do resíduo saturado de água (kg/L), m é a massa (kg) e V é volume de água (ml).

2.2.5 Determinação da absorção de água

A capacidade de absorção de água deve estar entre 35 e 65% (FLL, 2008). Com os valores recolhidos na determinação da densidade a granel, assim como com os valores obtidos na determinação da densidade na capacidade máxima de água, a absorção de água por parte do material considerado foi determinada de acordo com a equação:

$$Abs (\%) = \frac{m_{\text{resíduo saturado em água}} - m_{\text{resíduo seco}}}{m_{\text{resíduo seco}}} \times 100,$$

onde Abs é a absorção (%) e m a massa (kg).

2.3 Plantas Experimentais

As espécies vegetais utilizadas nos ensaios são todas autóctones de Portugal. Foram selecionadas de diferentes famílias botânicas, por apresentarem aparência e morfologia diferente e porque são amplamente utilizadas em coberturas verdes.

2.3.1 *Armeria welwitschii* (nome comum - Erva-de-curvo)

Espécie de planta com flor tipicamente encontrada em solos arenosos ou rochosos como dunas e arribas litorais (Figura 3). Floração entre Março e Julho. Visto ser uma planta caméfito, é de pequeno porte, não ultrapassando os 30cm de altura (Sociedade Portuguesa de Botânica, 2019).



Figura 3. *Armeria welwitschii* no dia zero

2.3.2 *Festuca glauca* (nome comum - Festuca-azul)

Planta usualmente utilizada para fins ornamentais devido à sua folhagem azul prateada brilhante (Figura 4). Possui uma dimensão adulta de cerca de 30cm de altura. Bastante tolerável a secas, o que significa que necessita de pouca manutenção e de pouca rega, provando ser ideal para este procedimento experimental (Christopher, 2008).



Figura 4. *Festuca glauca* no dia zero

2.3.3 *Sedum sediforme* (nome comum - Erva-pinheira)

Espécie de planta com flor, usualmente encontrada em zonas arenosas ou pedregosas como muros, escarpas, rochas e dunas (Figura 5). A sua capacidade de armazenamento de água no caule e nas folhas concedem-lhe uma elevada resistência. Floração entre Junho a Setembro. Com caules floríferos e lenhosos de 20 a 60cm de altura e com raízes finas, estas plantas distribuem-se por toda a região Mediterrânica, Centro e Sul da Europa (Sociedade Portuguesa de Botânica, 2019).



Figura 5. *Sedum Sediforme* no dia zero

2.4 Procedimento Experimental

Produziram-se 8 substratos de diferente composição para cada planta e foram colocados em vasos de 13cm de diâmetro, com cerca de 1L de substrato. Foram posteriormente instalados sob uma cobertura externa, numa das coberturas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho, em Azurém, Guimarães no dia 12 de dezembro de 2018 (correspondente ao dia 1).

Após 72 dias de ensaios com os 8 substratos iniciais, foram produzidos mais 7 substratos diferentes, para os ensaios identificados de 9 a 15 (Tabela 1). Para além dos 15 substratos experimentais, um substrato comercial (ON) e um substrato preparado em laboratório (OL), foram utilizados como ensaios controlo e produzidos de acordo com a formulação do comercial.

Juntamente com os vasos, foram utilizados 2 recipientes com medidor de volume de forma a calcular o índice pluviométrico. Este é o resultado do somatório da quantidade da precipitação de água (chuva, neve, granizo) num determinado local durante um dado período de tempo (Schyns et al., 2015).

Três vasos com cada um dos substratos foram plantados com *Armeria welwitschii*, *Festuca glauca* e *Sedum sediforme* e colocados em recipientes reutilizados (garrações de plástico de 5L) para drenagem da água lixiviada (Figura 6). Desta forma, a água drenada não permanece em contacto com o substrato, sendo assim facilitada a sua quantificação e a recolha de amostras para observação ao microscópio ótico de eucariotas associadas à rizosfera das plantas, eventualmente arrastados.



Figura 6. Sistema improvisada para recolha da água drenada de cada vaso. Na figura, a planta é Armeria welwitschii.

Os vasos utilizados neste procedimento, de marca “Artevasi”, são compostos por polipropileno ((C₃H₆)_n) e desenhados especialmente para uma melhor fase de floração e crescimento. Depois de concluída a preparação dos vasos com as misturas predefinidas e com as plantas, foram instalados numa das coberturas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho (Figura 7).



Figura 7. Ensaios experimentais - 1º dia.

No decorrer deste trabalho foram também colocados vasos de controlo (vaso+substrato) próximos dos vasos em estudo para controlar a humidade presente em cada um dos substratos (Figura 8).



Figura 8. Vasos de controlo (vaso+ substrato)

Foram retiradas amostras de 25ml em cada ensaio, para posterior estudo de microscopia.

2.5 Determinação do crescimento das plantas

O crescimento vegetal foi avaliado por gravimetria. Semanalmente, cada vaso (vaso+substrato+planta) foi pesado numa balança com uma precisão de 0.01 (Shinkgo CG 6000C) e o volume de água recolhida nos recipientes foi medido em proveta. Devido ao excessivo número de vasos, as pesagens não foram efetuadas no mesmo dia. À segunda-feira, eram pesados os vasos com *Armeria welwitschii*, à quarta-feira, os vasos com *Sedum sediforme* e por fim, à sexta, os vasos com *Festuca glauca*.

No dia 55 (4 de fevereiro de 2019) as três plantas em estudo foram plantadas nos substratos 9 (Cas15) a 15 (CCT), seguindo o mesmo procedimento utilizado para os substratos anteriores.

Durante 72 dias, todas as plantas envasadas sobreviveram às condições atmosféricas nos diferentes substratos em estudo (Figura 9):



Figura 9. Ensaios experimentais - dia 72.

A avaliação do crescimento das plantas foi feita comparando a média da massa inicial (g) de cada triplicado com a média da massa das plantas (g) determinada após 68 a 72 dias – dezembro de 2018 a fevereiro de 2019. A massa das plantas foi determinada pela dedução da massa do vaso e do substrato inicial (tara) à massa do conjunto (vaso+substrato+planta). A massa de substrato inicial variou ao longo do tempo com as variações climáticas, nomeadamente com os teores de humidade atmosférica ou períodos de chuva. (Figura 10).



Figura 10. Ensaios experimentais - dia 110.

Essa variação foi determinada considerando as variações nos vasos de controlo sem planta. No dia 55 (4 de fevereiro de 2019) as 3 plantas foram plantadas nos substratos 9 (Cas15) a 15 (CCT) seguindo o mesmo procedimento utilizado para os substratos anteriores.

O procedimento experimental continuou durante um período de 169 dias (dezembro de 2018 a maio de 2019), sendo que as plantas foram retiradas dos vasos, sacudidas do substrato agarrado às raízes e a sua massa real foi determinada por pesagem.

2.6 Análise das biocenoses de eucariotas

As biocenoses de organismos foram identificadas e contabilizadas por análise de microscopia ótica. Amostras de água recolhidas nos recipientes acoplados aos vasos foram analisadas ao microscópio ótico - Motic BA 200 e Olympus BX-63. Dado o elevado número de ensaios realizados (153 vasos), foram selecionados apenas alguns vasos de ensaios com um bom ou mau desempenho, ou seja, onde as plantas apresentaram, aparentemente, um melhor crescimento ou onde se apresentaram menos desenvolvidas. Também foram recolhidas para análise microscópica, amostras de água dos recipientes dos ensaios com substrato técnico da Neoturf.

Para a análise microscópica recolheram-se 25ml de água lixiviada de cada vaso, aquando medição semanal dos mesmos. Recorrendo a uma micropipeta, subamostras de 50µl eram colocados em lâminas de vidro (76 x 26mm) e cobertas com lamelas de vidro (24 x 24mm). Este procedimento realizou-se em triplicado (150µL).

Os tubos falcon com as amostras compostas foram mantidos à temperatura ambiente com a tampa desenroscada para permitir trocas de oxigênio com o exterior, promovendo assim o crescimento microbiano.

As observações ao microscópio realizaram-se 1-2 vezes por semana (terça e/ou quinta-feira). A análise microscópica das preparações obtidas permitiu identificar e contar alguns dos organismos observados; no microscópio de campo claro Olympus BX63, foi possível determinar o tamanho de algumas formas observadas.

3 RESULTADOS

Como parte final deste trabalho, serão apresentados os resultados obtidos ao longo do procedimento experimental.

3.1 Caracterização dos resíduos industriais

Tendo em conta os métodos utilizados e mencionados anteriormente, a caracterização dos resíduos industriais utilizados neste procedimento é apresentada na seguinte tabela (tabela 2):

Tabela 2. Caracterização dos resíduos industriais

Material	Teor em sais (g/L)	pH	Densidade a granel (kg/L)	Densidade cap. Máx água (Kg/ml)	Absorção água (%)
Cascas	0,0000	8,26	0,95	1,03	8
Escórias de Ferro	0,0000	7,58	0,84	0,88	5
Estofos 1	0,5720	6,50	0,08	0,33	375
Estofos 2	0,2400	7,39	0,02	0,42	1986
Estofos 3	0,0160	6,70	0,02	0,27	1012
Estofos 4	0,1480	6,20	0,12	0,36	204
Lã de Rocha	0,1360	6,46	0,06	0,79	518
Enchimento verde	0,0160	6,23	0,004	0,02	465
Enchimento branco	8,5850	6,73	0,01	0,02	301
Composto	2,8780	8,78	0,29	0,76	165

3.2 Caracterização dos substratos

Seguido da caracterização dos resíduos, aplicaram-se os mesmo métodos às 17 formulações (tabela 3).

Tabela 3. Caracterização dos diferentes substratos experimentais

Substrato	Teor em sais (g/L)	pH	Densidade a granel (kg/L)	Densidade cap. Máx água (Kg/ml)	Absorção água (%)
0N	0,2670	6,58	0,51	0,85	67
0L	0,0640	5,66	0,59	0,83	41
1	0,0830	5,76	0,62	0,88	41
2	0,0450	5,77	0,61	0,88	43
3	0,1720	5,76	0,48	0,71	47
4	0,0210	5,97	0,59	0,82	39
5	0,0000	6,97	0,61	0,87	43
6	0,0160	7,23	0,59	0,84	41
7	0,7490	7,63	0,52	0,85	64
8	0,4260	7,41	0,62	0,89	43
9	0,0000	5,63	0,74	0,99	33
10	0,1880	6,40	0,57	0,86	50
11	0,1590	5,98	0,73	0,96	33
12	0,0000	5,63	0,64	0,96	50
13	0,0820	5,52	0,86	1,18	38
14	0,0280	6,22	0,66	1,01	54
15	0,7590	8,40	0,80	1,24	54

3.3 Desenvolvimento das plantas nos diferentes substratos

O trabalho experimental teve início no dia 12 de dezembro de 2018 e este dia corresponde ao dia 1. O final do trabalho experimental foi dia 29 de maio de 2019 que corresponde ao dia 169.

O trabalho experimental teve início no dia 12 de dezembro de 2018 e este dia corresponde ao dia 1. O final do trabalho experimental foi dia 29 de maio de 2019 que corresponde ao dia 169. O desenvolvimento das plantas experimentais - *Armeria welwitshii*, *Sedum sediforme* e *Festuca glauca* - nos substratos Neo (ON), Lab (OL) e substratos de Esc10 (1) a Com12,5 (8), seguido durante 72 dias foi bastante variável. Acerca da primeira fase do procedimento, onde foram estudadas 8 formulações diferentes, a variação global da massa das plantas entre o início da atividade experimental e passados 72 dias é apresentada na Figura 11.

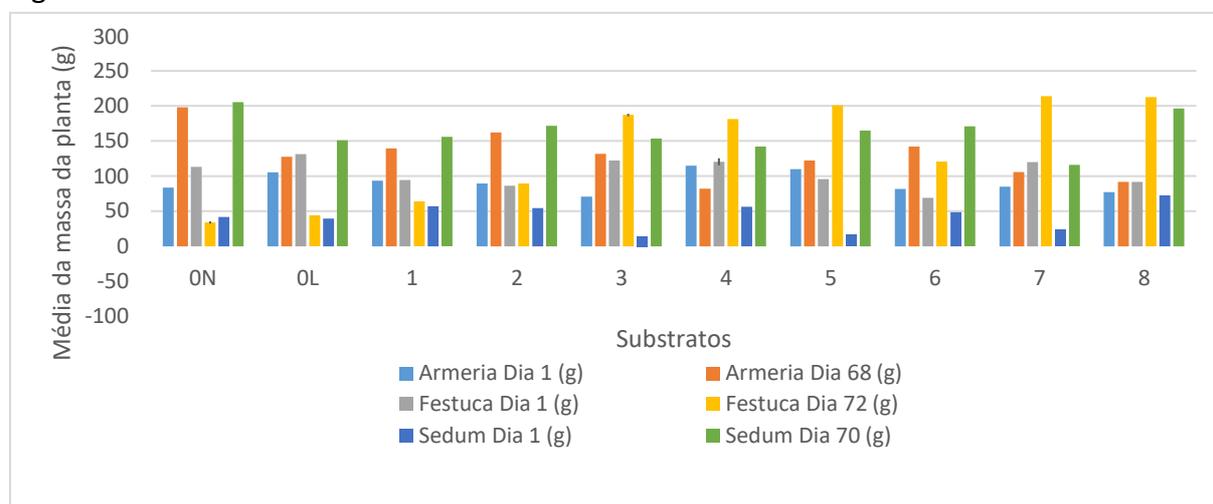


Figura 11. Média da massa (g) \pm desvio padrão (n=3) de *Armeria welwitshii*, *Festuca glauca* e *Sedum sediforme*, plantadas em 3 vasos com os substratos testados, passado 72 dias..

Para uma análise pormenorizada, os resultados de crescimento percentual dos triplicados de *A. welwitshii*, *Sedum sediforme* e *F. glauca* para os 10 substratos, são apresentados na tabela 4.

Tabela 4. Crescimento percentual dos triplicados com diferentes substratos (n=3) plantados com *Armeria welwitshii*, *Sedum Sediforme* e *Festuca glauca* ao longo do período experimental entre o dia 1 e o dia 68, 70 e 72, respetivamente (média \pm desvio padrão)

Substratos	Crescimento (%)		
	<i>A. welwitshii</i> (dia 68)	<i>S. sediforme</i> (dia 70)	<i>F. glauca</i> (dia 72)
Neo	137	395	-75
Lab	21	282	-66
Esc10 (1)	49	173	-32
Esc20 (2)	81	215	4
LAA1 (3)	87	1000	53
LAA2 (4)	-28	153	50

Ozn1 (5)	11	941	110
Ozn2 (6)	74	251	75
Com25 (7)	25	393	78
Com12.5 (8)	19	170	132

Nota: as siglas referem-se aos diferentes substratos elaborados conforme tabela “prévia”: Neo - da Neoturf; Lab – elaborado no laboratório; Esc10 – com 10% de escórias; Esc20– com 20% de escórias; LAA1 – com 1% de lamas; LAA2 – com 2% de lamas; Ozn1 – com 1% de óxido de zinco; Ozn2 – com 2% de óxido de zinco; Com25 – com 25% de composto; Com 12,5 – com 12,5 % de composto.

A variação da massa (g) das plantas entre o início da atividade experimental e passados 169 dias é apresentada na Figura 12.

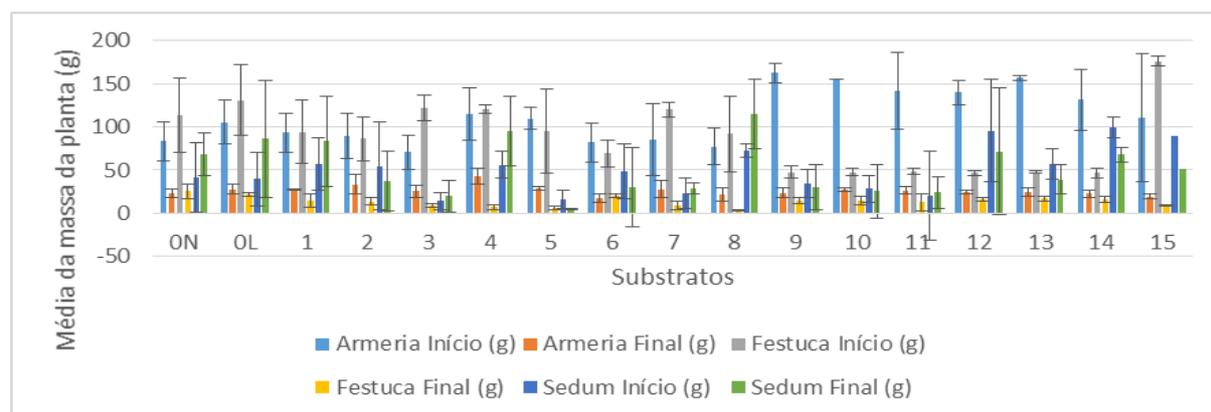


Figura 12. Média da massa (g) \pm desvio padrão (n=3) de *Armeria welwitschii*, *Festuca glauca* e *Sedum sediforme* plantadas em 3 vasos com os substratos testados

O crescimento percentual dos triplicados de todos os substratos em estudo durante os 169 dias está representado na Tabela 55, para a *Armeria welwitschii*, para o *Sedum sediforme* e para a *Festuca glauca*.

Tabela 5. Crescimento percentual dos triplicados com diferentes substratos (n=3) plantados com *Armeria welwitschii*, *Sedum Sediforme* e *Festuca glauca* ao longo do período experimental. O período experimental destes substratos teve início no dia 55.

Substratos	Crescimento (%)		
	<i>A. welwitschii</i> (dia 160)	<i>S. sediforme</i> (dia 169)	<i>F. glauca</i> (dia 164)
Neo	-71,70	65,05	-77,64
Lab	-73,46	118,94	-83,29
Esc10 (1)	-70,51	45,71	-84,37
Esc20 (2)	-62,65	-31,16	-84,05
LAA1 (3)	-64,29	41,48	-92,84

LAA2 (4)	-62,63	68,83	-94,09
Ozn1 (5)	-73,36	-70,84	-93,70
Ozn2 (6)	-78,87	-37,85	-70,30
Com25 (7)	-67,07	22,46	-92,56
Com12.5 (8)	-72,17	57,65	-96,78
Cas15 (9)	-85,54	-10,59	-69,20
Esc15 (10)	-82,46	-9,61	-70,03
Cas20 (11)	-81,55	18,28	-74,33
Cas10 (12)	-82,29	-25,33	-66,26
Cas50 (13)	-84,46	-31,30	-64,35
Esc50 (14)	-82,70	-31,51	-65,93
CCT (15)	-82,71	-42,28	-95,08

Nota: as siglas referem-se aos diferentes substratos elaborados conforme tabela “prévia”: Cas15 – com 15% de cascas; Esc15 – com 15% de escórias; Cas20 – com 20% de cascas; Cas10 – com 10% de cascas; Cas50 – com 50% de cascas; Esc50 – com 50% de escórias; CCT – com 50% de cascas, 30% de composto e 20% de turfa.

3.4 Biocenoses eucariotas de alguns substratos

Entre o início de março e final de maio, várias amostras foram analisadas em microscopia de campo claro, com o intuito de estudar as biocenoses de eucariotas presentes nos substratos experimentais na rizosfera das diferentes plantas testadas, tanto para *Armeria welwitschii* (Tabela 6), *Festuca glauca* (Tabela 7) ou *Sedum Sediforme* (Tabela 8). Como referido anteriormente, devido ao elevado número de ensaios, houve uma seleção aleatória de amostras de água lixiviada das diversas plantas, para que prosseguissem para análise microscópica. Bactérias e clorofilas não foram contabilizadas, por se apresentarem em excessiva quantidade.

Tabela 6. Identificação e densidade de organismos por ml, de diferentes formulações com *A. welwitschii*

Amostra	Taxa	Densidade (ml ⁻¹)
	Ciliados	174

0N.2.A	Annelida	160
	Nematoda	7
2.1.A	Ciliados	320
4.3.A	Ciliados	27
7.1.A	Ciliados	13
	Nematoda	60
8.1.A	Ciliados	133
	Amebóides	27
	Nematoda	13
9.2.A	Ciliados	60
	Amebóides	20
11.1.A	Ciliados	189
	Gastrotricha	80
	Nematoda	7
14.1.A	Ciliados	333
	Amebóides	7
	Nematoda	13

Tabela 7. Identificação e classificação e densidade de organismos por ml de diferentes formulações com Festuca glauca

Ensaio	Taxa	Densidade (ml ⁻¹)
	Ciliados	807

0N.1.F	Nematoda	33
	Gastrotricha	7
	Não identificado	13
0N.3.F	Ciliados	180
	Amebóides	7
	Flagelado	273
	Nematoda	760
	Rotifera	7
5.1.F	Ciliados	80
	Nematoda	87
	Gastrotricha	7
5.2.F	Ciliados	345
	Nematoda	100
	Amebóides	280
	Gastrotricha	13
	Não identificado	7
6.1.F	Ciliados	573
	Nematoda	400
	Não identificado	7

6.2.F	Ciliados	133
	Nematoda	20
12.1.F	Ciliados	1600
	Amebóides	20
	Nematoda	447
12.2.F	Ciliados	793
	Amebóides	60
	Nematoda	133

Tabela 8. Identificação e classificação e densidade de organismos por ml de diferentes formulações com Sedum Sediforme.

Ensaio	Taxa	Densidade (ml ⁻¹)
ON.1.S	Ciliados	13
	Nematoda	13
ON.2.S	Ciliados	973
	Flagelados	53
	Não identificado	13
ON.3.S	Ciliados	187
	Amebóides	7
	Gastrotricha	20
	Nematoda	7

4.2.S	Ciliados	67
	Gastrotricha	7
	Copepoda	7
5.2.S	Ciliados	147
	Amebóides	7
6.1.S	Ciliados	27
6.2.S	Ciliados	680
	Amebóides	7
6.3.S	Nematoda	20
8.1.S	Ciliados	486
8.2.S	Ciliados	233
	Flagelados	7
	Amebóides	53
	Nematoda	40
	Não identificado	33
8.3.S	Ciliados	247
	Flagelados	187
11.1.S	Ciliados	193
	Gastrotricha	13
	Nematodes	153

11.2.S	Ciliados	513
	Amebóides	207
	Nematoda	7
14.1.S	Ciliados	207
	Nematoda	40
14.2.S	Ciliados	927
	Nematoda	13

As análises microscópicas das amostras observadas evidenciaram a presença de uma abundância variável de bactérias, protozoários, principalmente ciliados (Figura 13a) e amebóides (Fig. 13b) e até alguns metazoários.

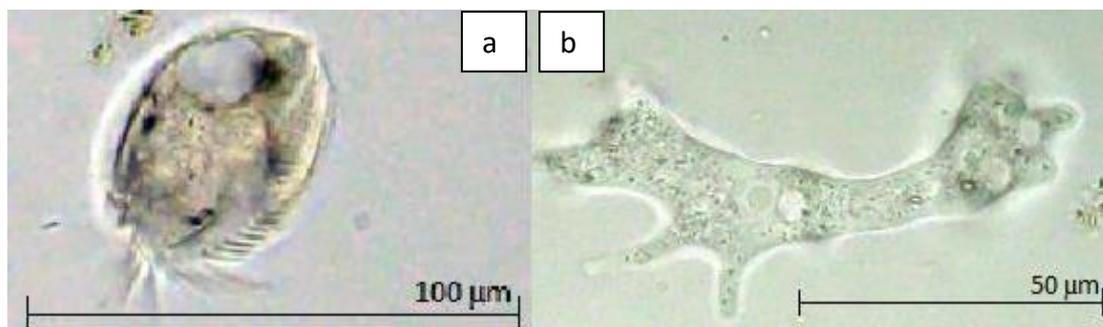


Figura 13. Fotografia do microscópio de protozoários em campo claro. a) ciliados, ampliação de 200x. b) amebóide, ampliação de 400x

4 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

No Inverno, as plantas na natureza tendem a ter um declínio, pois estão num período de dormência e normalmente não apresentam crescimento. Na Primavera, fortalecem e tendem a ficar robustas. A tonalidade vermelha que *Armeria welwitschii* apresenta na base das folhas, junto ao substrato, é característica da época de frio. As touceiras secas na *Festuca glauca* são também comuns nesta época do ano.

De acordo com os dados obtidos quanto ao crescimento vegetativo, foram poucas as plantas que tiveram um acréscimo de massa. A *A. welwitschii* teve o seu melhor crescimento nos substratos 2 (-62,65%) e 4 (62,63%) enquanto que a *F. glauca* cresceu melhor nos substratos 13 (64,35%) e 14 (65,3%). Para a *S. sediforme* registou-se um acréscimo de massa em alguns substratos, mais notório nos substratos 0L (118,94%) e 4 (68,83%).

A *A. welwitschii* mostrou um melhor desempenho no substrato 2 (Esc20) que continha na sua formulação escórias de ferro constituídas, principalmente, por silicatos ricos em ferro (Fe) e no substrato 4 (LAA20) que englobava resíduos de cerâmica e de anodização de alumínio (rico em hidróxido de alumínio) na sua formulação.

A *F. glauca* obteve um maior desenvolvimento no substrato 13 (Cas50), que continha 50% de resíduos cerâmicos, compostos essencialmente por sílica, alumínio e zircónia, e no substrato 14 (Esc50), no qual as escórias de ferro constituíam metade da sua formulação.

O maior crescimento da *S. sediforme* foi constatado nos substratos 0L (Lab) e no 4 (LAA20), que contêm resíduos de cerâmica e de anodização de alumínio (rico em hidróxido de alumínio). A explicação para que o substrato 0L tenha apresentado resultados surpreendentemente positivos pode ter a ver com a preparação meticulosa da sua formulação em ambiente laboratorial e também por um dos triplicados do ON se apresentar numa fase vegetativa inicial e que, durante o procedimento experimental, apresentou um crescimento positivo exponencial.

É de notar que, praticamente todos os substratos estudados que conseguiram resultados positivos ultrapassando os valores de crescimento obtidos nos controlos ON continham na sua formulação diferentes quantidades de resíduos de cerâmica refratários ricos em sílica e alumínio, resíduos industriais ricos em hidróxido de alumínio (Al) ou ferro (Fe). Em quantidades diferentes, o ferro foi classificado como essencial para o crescimento e desenvolvimento de uma planta. A falta de ferro pode manifestar-se nalgumas plantas através do aparecimento de folhas amareladas com as nervuras verdes. Isto, porque o ferro é um

micronutriente importante na fotossíntese, na respiração e na assimilação de oxigênio (Carrijo et al., 2000). As escórias de ferro podem ser vistas como uma vantagem, uma vez que as plantas alimentam-se a partir do ferro libertado na oxidação.

Os resíduos de cerâmica refratários podem vir a substituir a argila expandida amplamente utilizada nas coberturas verdes, tendo como principal função a drenagem da água de forma a evitar que as plantas e flores apodreçam com o excesso de humidade. Este tipo de resíduo, garante a quantidade ideal de água para a sobrevivência das plantas ao evitar que a terra e a plantação fiquem encharcadas (Coelho et al., 2013). Para além disso, a argila possui uma finalidade estética, sendo utilizada para fins decorativos de coberturas verdes, controlando também a expansão de ervas daninhas.

O alumínio (Al) foi estudado e comprovado que contribui para o crescimento vegetativo de espécies que tenham uma tolerância ao Al (Britez et al., 2002) onde foi apresentado um aumento do crescimento de diferentes partes da planta em estudo à medida que aumentaram as quantidades de alumínio na solução. O Al acumula-se, maioritariamente, na zona radicular, seguido das folhas e posteriormente no caule. O crescimento pode ser explicado pelo aumento das propriedades de trocas iónicas relacionadas com os hidróxidos metálicos (Mustafa & Komatsu, 2016).

A *A. welwitschii* perdeu massa em todos os substratos, mais significativamente, no substrato 9 (-85,54%).

A *F. glauca* também perdeu massa em todos os substratos, tendo essa perda sido mais evidente no substrato 15 (-95,08%). No caso da *S. sediforme*, os substratos que tiveram o menor desempenho foi o 5 com um crescimento percentual de -70,84%.

Apesar de se apresentar resultados de certa forma preliminares, os nossos resultados parecem promissores. Comparando os resultados de determinados ensaios com o substrato fornecido pela Neoturf (ON), podemos assinalar quanto à *A. welwitschii*, 5 ensaios (1,2,3,4 e 7), quanto à *F. glauca*, 7 ensaios (6,9,10,11,12,13 e 14) e por fim, no que toca à *S.sediforme*, 1 ensaio (4), com um desempenho maior do que o utilizado como controlo. Estes resultados ressaltam o facto de que parte da mistura de resíduos industriais utilizados na formulação de substratos, pode substituir os produtos orgânicos convencionais, com uma expectativa de custos mais baixos.

Embora as observações microscópicas ainda sejam escassas, as diferenças entre a "biocenose" presente nos diferentes vasos parecem ser mais óbvias entre amostras de vasos com plantas diferentes do que entre amostras de vasos com substratos diferentes, mas com as espécies da mesma planta. Por exemplo, a biocenose observada nas amostras dos substratos ON e 8 foi mais semelhante nas amostras de vasos com a mesma espécie de planta do que em vasos com o mesmo substrato plantado com espécies diferentes.

No que diz respeito à biocenose eucariótica, as observações realizadas apontam para que estes organismos possam ser bons bioindicadores para a tecnologia de coberturas verdes. Como parecem associados à rizosfera de plantas específicas, a sua proliferação pode contribuir para um crescimento mais eficiente das plantas.

Relativamente ao estudo de substratos viáveis, recorrendo à utilização de resíduos industriais como parte das suas formulações, é de notar que este trabalho tem ainda objetivos a atingir. Após a conclusão do período experimental referido nesta dissertação de mestrado, no final de maio de 2019, prosseguiu-se para a formulação de ensaios adicionais.

Como trabalho futuro, pretende-se escolher 4 das formulações com os melhores resultados e prosseguir o estudo para a escala piloto. O objetivo passará pela análise da interação das plantas entre si. Por fim, é de se esperar que com os resultados obtidos na escala piloto seja possível a implementação da escala comercial.

O estudo das biocenoses de eucariontes requer uma dedicação exclusiva a este assunto, sendo aconselhável um trabalho especializado somente no estudo das biocenoses de eucariontes presentes na rizosfera das plantas.

As coberturas verdes contribuem para a sustentabilidade ecológica do ambiente urbano. São constituídas por um sistema de engenharia leve que permite a plantação e crescimento de plantas e flores sobre uma laje convencional. Na era do aquecimento global, em que o

planeta corre sérios riscos ambientais, nada mais acertado do que investir no uso de tecnologias sustentáveis, principalmente na construção civil.

5 REFERÊNCIAS

- Adl, S. M., Simpson, A. G. B., Lane, C. E., Lukeš, J., Bass, D., Bowser, S. S., ... Spiegel, F. W. (2012). The revised classification of eukaryotes. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 59(5), 429–493. <http://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2012.00644.x>
- Anico, A. (2016). Plantas autóctones em coberturas verdes: avaliação do desenvolvimento e valor estético vs. rega e tipo de substrato. Retrieved from [https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/13399/1/Plantas autóctones em coberturas verdes - Adriana Anico.pdf](https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/13399/1/Plantas%20aut%C3%B3ctones%20em%20coberturas%20verdes%20-%20Adriana%20Anico.pdf)
- Bacelar Nicolau, P. (2016). MICRORGANISMO E AMBIENTE : AR E ÁGUA , SOLO E EXTREMOS.
- Baldotto, M. A., & Baldotto, L. E. B. (2014). Ácidos Húmicos. *Revista Ceres*, 61, 856–881. <http://doi.org/10.1590/0034-737X201461000011>
- Bass, B., Peck, S. W., & Kuhn, M. E. (2013). Greenbacks from green roofs : Forging a new industry in Canada GREENBACKS FROM GREEN ROOFS : FORGING A NEW INDUSTRY IN CANADA STATUS REPORT ON BENEFITS , BARRIERS AND OPPORTUNITIES Prepared by : Environmental Adaptation Research Group , Environment Canada, (December).
- Bates, S. T., Clemente, J. C., Flores, G. E., Walters, W. A., Parfrey, L. W., Knight, R., & Fierer, N. (2013). Global biogeography of highly diverse protistan communities in soil. *ISME Journal*, 7(3), 652–659. <http://doi.org/10.1038/ismej.2012.147>
- Berardi, U., Ghaffarianhoseini, A., & Ghaffarianhoseini, A. (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*, 115, 411–428. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>
- Berghage, R., Wolf, A., Miller, C., Sanford, K., & Sanford, D. (2008). Testing Green Roof Media for Nutrient Content ©, 385–393.
- Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality : A review. *Ecological Engineering*, 36(4), 351–360. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>
- Breuning, J., & Yanders, A. (2012). Introduction to the FLL Guidelines for the Planning , Construction and Maintenance of Green Roofing - 2008 Edition of the Green Roofing Guideline –, (February), 1–9.
- Britez, R. M., Reissmann, C. B., Watanabe, T., & Osaki, M. (2002). Efeito do Alumínio no desenvolvimento de *Tapirira guianensis* aublet em solução hidropônica, 32(2), 171–187.
- Carrijo, O. A., Makishima, N., Reis, N. V. B. dos, Souza, A. F., Lopes, C. A., & Boas, G. L. V. (2000). Princípios de hidroponia. *Embrapa Hortaliças - Circular Técnica (INFOTECA-E)*, 22, 27. Retrieved from <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/769981>
- Carson, T. B., Hakimdavar, R., & Culligan, P. J. (2012). Viability of Recycled and Waste Materials As Green Roof Substrates, (December 2014). <http://doi.org/10.1061/9780784412121.373>
- Chen, C., Kang, S., & Lin, J. (2018). Effects of recycled glass and different substrate materials on the leachate quality and plant growth of green roofs. *Ecological Engineering*, 112(July 2017), 10–20. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.013>
- Christopher, B. (2008). *RHS A-Z Encyclopedia of Garden Plants* (4th ed.).
- Coelho, M., Fidalgo, E., Dos Santos, H., Brefin, M., & Pérez, D. (2013). Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. *Embrapa*,

- 47–62. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.26454.65608>
- dos Santos, M. B., & Gouveia, F. P. (2014). Tecnologia e materiais utilizados na concepção de telhados verdes: uma adequação ao município de Tucuruí - PA, 8279–8286.
- Dunnett, N. (2006). Green Roofs for Biodiversity: Reconciling Aesthetics With Ecology. *Proceedings of the Fourth Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities*, (14), 1–12. Retrieved from <http://thegreenroofcenter.com/ecology/Dunnett, N. P. 2006 Green roofs for biodiversity- reconciling aesthetics with ecology.pdf>
- Dunnett, N., Nagase, A., & Booth, R. (2008). Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments, 385–398. <http://doi.org/10.1007/s11252-008-0064-9>
- Dvorak, B. D., & Volder, A. (2010). Green roof vegetation for North American ecoregions : A literature review, (June). <http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.04.009>
- Emilsson, T. (2008). Vegetation development on extensive vegetated green roofs : Influence of substrate composition , establishment method and species mix, 3, 265–277. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.05.005>
- Emilsson, T., Czemieli, J., Erik, J., & Rolf, K. (2006). Effect of using conventional and controlled release fertiliser on nutrient runoff from various vegetated roof systems, 9, 260–271. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.01.001>
- Farrell, C., Mitchell, R. E., Szota, C., Rayner, J. P., & Williams, N. S. G. (2012). Green roofs for hot and dry climates : Interacting effects of plant water use , succulence and substrate. *Ecological Engineering*, 49, 270–276. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.08.036>
- FLL. (2018). – Green Roof Guidelines – Guidelines for the Planning , Construction and Maintenance of Green Roofs.
- Forte, A. (2018). Telhado verde: Vantagens e Desvantagens. Retrieved October 28, 2019, from <https://www.neoturf.pt/pt/empresa/apresentacao>
- Geisen, S., Mitchell, E. A. D., Wilkinson, D. M., Adl, S., Bonkowski, M., Brown, M. W., ... Lara, E. (2017). Soil protistology rebooted: 30 fundamental questions to start with. *Soil Biology and Biochemistry*, 111, 94–103. <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.04.001>
- Getter, K. L., & Rowe, D. B. (2006). The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development, 41(5), 1276–1285.
- Graceson, A., Monaghan, J., Hall, N., & Hare, M. (2014). Plant growth responses to different growing media for green roofs. *Ecological Engineering*, 69, 196–200. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.067>
- Hunt, W. F., Hathaway, A. M., Smith, J. T., & Calabria, J. (2006). Choosing the right green roof media for water quality. *Proceedings of the Greening Rooftops for Sustainable Communities*.
- Kolb, W., Schwarz, T., & Mansourie, P. (1982). Extensive planting of roof areas – vegetational properties and cost of 10 different substrates. *Zeitschrift Für Vegetationstechnik*, 5, 106–112.
- Kotsiris, G., Nektarios, P. A., & Paraskevopoulou, A. T. (2012). Lavandula angustifolia Growth and Physiology Is Affected by Substrate Type and Depth When Grown under Mediterranean Semi-intensive Green Roof Conditions, 47(2), 311–317.
- Lata, J., Dusza, Y., Abbadie, L., Barot, S., Carmignac, D., Gendreau, E., ... Raynaud, X. (2018). Role of substrate properties in the provision of multifunctional green roof ecosystem services. *Applied Soil Ecology*, 123(March 2017), 464–468. <http://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.012>
- Lynch, J. M. (2012). Rhizosphere, (2002).

- <http://doi.org/10.1002/9780470015902.a0000403.pub2>
- Magill, J. D., Midden, K., & Groninger, J. (2011). A History and Definition of Green Roof Technology with Recommendations for Future Research by.
- Manfred, K. (2002). Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics – far beyond the aesthetics. *Environmental Management and Health*, 13(4), 382–391. <http://doi.org/10.1108/09566160210439297>
- Mickovski, S. B., Buss, K., McKenzie, B. M., & Sökmener, B. (2013). Laboratory study on the potential use of recycled inert construction waste material in the substrate mix for extensive green roofs. *Ecological Engineering*, 61(1 PARTC), 706–714. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.02.015>
- Molineux, C. J., Fentiman, C. H., & Gange, A. C. (2009). Characterising alternative recycled waste materials for use as green roof growing media in the U . K ., 35, 1507–1513. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.06.010>
- Morgan, S., Asce, M., Celik, S., & Retzlaff, W. (2013). Green Roof Storm-Water Runoff Quantity and Quality, 2(2), 471–478. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000589](http://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000589).
- Mustafa, G., & Komatsu, S. (2016). Toxicity of heavy metals and metal-containing nanoparticles on plants. *Biochimica et Biophysica Acta - Proteins and Proteomics*, 1864(8), 932–944. <http://doi.org/10.1016/j.bbapap.2016.02.020>
- Nagase, A., & Dunnett, N. (2011). Landscape and Urban Planning The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. *Landscape and Urban Planning*, 103(2), 230–236. <http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.07.012>
- Neoturf. (2017). Apresentação.
- Ouldboukhitine, S., & Djedjig, R. (2012). Characterization of green roof components : Measurements of thermal and hydrological properties, 56, 78–85. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.024>
- Philippi, P. M. (2016). Introduction to the German FLL- Guideline for the planning, execution and upkeep of the green-roof sites.
- Pinto, C. (2014). Introdução às Coberturas Ajardinadas, 62.
- Rowe, B. (2007). Green Roofs As Urban Ecosystems : Ecological Structures , Functions And Green Roofs as Urban Ecosystems : Ecological Structures , Functions , and Services, (November). <http://doi.org/10.1641/B571005>
- Rowe, D. B., Monterusso, M. A., Rugh, C. L., & Words, A. D. I. (2006). Assessment of Heat-expanded Slate and Fertility Requirements in Green Roof, 16(September), 471–477.
- Schyns, J. F., Hoekstra, A. Y., & Booiij, M. J. (2015). Review and classification of indicators of green water availability and scarcity. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 12(6), 5519–5564. <http://doi.org/10.5194/hessd-12-5519-2015>
- Screnski, A. J. (2015). Viabilidade do telhado verde como instrumento de redução de emissões de carbono, 16.
- Sociedade Portuguesa de Botânica. (2019). <https://flora-on.pt/?q=armeria+welwitschii>.
- Solano, L., Ristvey, A. G., Lea-cox, J. D., & Cohan, S. M. (2012). Sequestering zinc from recycled crumb rubber in extensive green roof media. *Ecological Engineering*, 47, 284–290. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.07.002>
- Sutton, R. K. (2015). Introduction to Green Roof Ecosystems, 1–25. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-14983-7>
- UN. (2018). The World 's Cities in 2018. *The World's Cities in 2018 - Data Booklet (ST/ESA/SER.A/417)*, 34.

- Vanwoert, N. D., Rowe, D. B., Andresen, J. A., Rugh, C. L., & Xiao, L. (2005). Watering Regime and Green Roof Substrate Design Affect Sedum Plant Growth, *40*(3), 659–664.
- Vijayaraghavan, K. (2016). Green roofs : A critical review on the role of components , benefits , limitations and trends, *57*, 740–752. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>

6 ANEXOS

A. Publicações científicas resultantes deste projeto

Foi submetido e aceite um artigo, no âmbito do projeto EGR, para apresentação na 5ª Conferencia Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities, edição de 2019, que se realizou em setembro, na Costa da Caparica, Almada. Este artigo foi publicado em livro e foi colocado um *preprint* confidencial nos sites www.researchgate.net e <https://repositorium.sdum.uminho.pt>.

V. Pinheiro, I. Lima, A. Ribeiro, T. Teixeira, J. Ribeiro, M. Abreu, J. Almeida, P. Palha, I. A. P. Mina, F. Castro (2019), Application of industrial wastes in substrates for ecological green roofs, Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities III, CRC Press, Leiden, The Netherlands, 211-216.

https://www.researchgate.net/publication/335889862_Application_of_industrial_wastes_in_substrates_for_ecological_green_roofs

<https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/61496>

Para a mesma conferência foi também submetido e aceite um artigo que foi apresentado através de *poster* (Figura 14) O artigo foi publicado no *Book of proceedings* da conferência e colocados nos sites www.researchgate.net e <https://repositorium.sdum.uminho.pt>.

V. Pinheiro, I. Lima, A. Ribeiro, T. Teixeira, J. Ribeiro, M. Abreu, J. Almeida, P. Palha, I. A. P. Mina, F. Castro (2019), EcoGreenRoof – EGR: eco-materials development for green roofs, Book of proceedings - 5th International Conference WASTES: Solutions, Treatments and Opportunities, 77-80.

https://www.researchgate.net/publication/335889078_ECOGREENROOF_-EGR_ECO-MATERIALS_DEVELOPMENT_FOR_GREEN_ROOFS

EcoGreenRoof – EGR: eco-materials development for green roofs

V. Pinheiro (1), I. Lima (2), A. Ribeiro (1), T. Teixeira (3), J. Ribeiro (3), M. Abreu (2), J. Almeida (4), P. Palha (5), I. A. P. Mina (2), F. Castro (2, 3)

(1) CVR – Rua de Francos, n.º 350, 4800-038, Guimarães, Portugal
 (2) University of Minho
 (3) W2V – Ruas das Alminhas, 900, Calvos, 4810-608, Guimarães, Portugal
 (4) Itecons – University of Coimbra, Polo II, Rua Pedro Hispano, 3030-289, Coimbra, Portugal
 (5) Neoturf – Rua das Amoreiras, 155, 4460-227, Senhora da Hora, Portugal

ABSTRACT

The project EcoGreenRoofs - EGR aims to develop ecological substrates for application in green roofs, which include in their formulation industrial waste of organic and inorganic base. The substrates are tentatively produced exclusively from industrial waste and / or materials derived from waste treated, and tested at a facility to be studied, developed and built on pilot scale. The substrates produced will be tested under real conditions for their validation and inherent production process. This project aims also to evaluate the commercialization of substrates by analyzing the technical, economic and environmental components. The project is being carried out in co-promotion by two enterprises, one with know-how in the execution of green roofs (Neoturf – Fig. 1) and the other with knowledge to implementation of industrial solutions aiming waste management (W2V – Fig. 2), and by two SI & I entities with the knowledge and means to develop waste recovery studies (CVR – Fig. 3) and roof solutions (Itecons – Fig. 4).

Fig. 1 – Neoturf logo

Fig. 2 – W2V logo

Fig. 3 – CVR logo

Fig. 4 – Itecons logo

PROPOSITION

The process proposed in the EGR project began with the selection of organic and inorganic wastes and aimed the commercialization of validated eco-substrates (Fig. 5) by the assays to be performed.

```

graph LR
    IW[Inorganic wastes] --> P1[Processing (separation, fragmentation, etc.)]
    OW[Organic wastes] --> P2[Processing (heat treatment)]
    P1 --> OIF[Optimized inorganic fraction]
    P2 --> OOF[Optimized organic fraction]
    OIF --> M[Mixture]
    OOF --> M
    M --> ES[Eco-substrate]
    ES --> TEV[Technical-environmental validation]
    TEV --> C[Commercialization]
    
```

Acknowledgements
 This work has been co-financed by Compete 2020, Portugal 2020 and the European Union through the European Regional Development Fund – FEDER within the scope of the project EGR - EcoGreenRoof: Desenvolvimento de eco-materiais para coberturas verdes (POC-01-0247-FEDER-035726).

References
 [1] P. Palha, Culturas ajardinadas: uma solução para as cidades? Revista da Associação Portuguesa de Horticultura 106 (2011) 28-31.
 [2] U. Barard, A. Chatterlanhosenl, A. Chatterlanhosenl (2014) State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. Appl Energy 115: 411–28.
 [3] Regulamento UE n.º 325/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho de 9 de Março de 2011.
 [4] FLL (2008) Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing – Green Roofing Guideline. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., Bonn, Germany.

Figura 14. Poster apresentado na conferência WASTES realizada na Costa da Caparica: EcoGreenRoof – EGR: eco-materials development for green roofs

B. Identificação, contagem e densidade de organismos por ml, de diferentes formulações com *A.welwitshii*, *Festuca glauca* e *Sedum Sediforme*.

Como referido anteriormente, várias amostras foram analisadas em microscopia de campo claro, com o intuito de estudar as biocenoses de eucariotas presentes nos substratos experimentais na rizosfera das diferentes plantas testadas. As seguintes tabelas mostram os resultados perante a identificação, contagem e densidade de organismos, tanto para *Armeria welwitshii* (Tabela 9), *Festuca glauca* (Tabela 10) ou *Sedum Sediforme* (Tabela 11).

Tabela 9. Identificação, contagem e densidade de organismos por ml, de diferentes formulações com A.welwitshii

Amostra	Taxa	Lâmina 1	Lâmina 2	Lâmina 3	Densidade (ml ⁻¹)
ON.2.A	Ciliados	7	8	11	174
	annelida	4	2	18	160
	Nematoda	0	0	1	7
2.1.A	Ciliados	22	11	15	320
4.3.A	Ciliados	0	4	0	27
7.1.A	Ciliados	0	1	1	13
	Nematoda	7	0	2	60
8.1.A	Ciliados	9	6	5	133
	Amebóides	1	2	1	27
	Nematoda	1	1	0	13
9.2.A	Ciliados	5	4	0	60
	Amebóides	1	1	1	20
	Ciliados	0	0	28	189

11.1.A	Gastrotricha	0	0	0	80
	Nematoda	0	0	0	7
14.1.A	Ciliados	6	34	10	333
	Amebóides	1	0	0	7
	Nematoda	0	2	0	13

Tabela 10. Classificação e densidade de organismos por ml de diferentes formulações com *Festuca glauca*

Ensaio	Taxa	Lâmina 1	Lâmina 2	Lâmina 3	Densidade (ml ⁻¹)
ON.1.F	Ciliados	19	59	43	807
	Nematoda	0	2	3	33
	Gastrotricha	1	0	0	7
	Não identificado	2	0	0	13
ON.3.F	Ciliados	20	6	1	180
	Amebóides	1	0	0	7
	Flagelado	5	28	8	273
	Nematoda	35	52	27	760
	Rotifera	0	1	0	7
5.1.F	Ciliados	1	2	9	80
	Nematoda	12	1	0	87
	Gastrotricha	1	0	0	7
	Ciliados	12	30	10	345

5.2.F	Nematoda	4	8	3	100
	Amebóides	6	32	4	280
	Gastrotricha	1	1	0	13
	Não identificado	1	0	0	7
6.1.F	Ciliados	29	36	21	573
	Nematoda	44	11	5	400
	Não identificado	1	0	0	7
6.2.F	Ciliados	8	1	11	133
	Nematoda	2	1	0	20
12.1.F	Ciliados	134	65	41	1600
	Amebóides	0	2	1	20
	Nematoda	36	45	6	447
12.2.F	Ciliados	27	52	40	793
	Amebóides	4	2	3	60
	Nematoda	4	16	0	133

Tabela 11. Classificação e densidade de organismos por ml de diferentes formulações com *Sedum Sediforme*.

Ensaio	Taxa	Lâmina 1	Lâmina 2	Lâmina 3	Densidade (ml ⁻¹)
ON.1.S	Ciliados	0	1	1	13
	Nematoda	0	2	0	13

0N.2.S	Ciliados	58	60	28	973
	Flagelados	5	3	0	53
	Não identificado	1	0	1	13
0N.3.S	Ciliados	15	6	7	187
	Amebóides	0	0	1	7
	Gastrotricha	1	0	2	20
	Nematoda	1	0	0	7
4.2.S	Ciliados	2	5	3	67
	Gastrotricha	0	0	1	7
	Copepoda	0	0	1	7
5.2.S	Ciliados	6	10	6	147
	Amebóides	0	0	1	7
6.1.S	Ciliados	0	0	4	27
6.2.S	Ciliados	49	22	31	680
	Amebóides	1	0	0	7
6.3.S	Nematoda	3	0	0	20
8.1.S	Ciliados	25	31	17	486
8.2.S	Ciliados	8	6	21	233
	Flagelados	1	0	0	7
	Amebóides	7	0	1	53

	Nematoda	0	6	0	40
	Não identificado	0	3	2	33
8.3.S	Ciliados	14	18	5	247
	Flagelados	11	10	7	187
11.1.S	Ciliados	20	3	6	193
	Gastrotricha	1	1	0	13
	Nematodes	7	10	6	153
11.2.S	Ciliados	36	20	21	513
	Amebóides	17	6	8	207
	Nematoda	1	0	0	7
14.1.S	Ciliados	6	9	16	207
	Nematoda	2	3	1	40
14.2.S	Ciliados	46	36	57	927
	Nematoda	2	0	0	13