

Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Biologia da Conservação

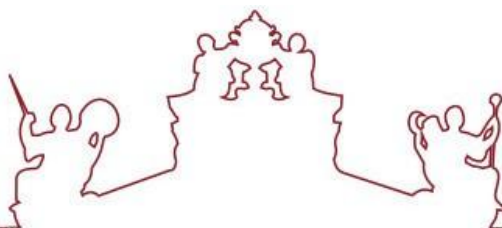
Dissertação

Macrofungos micorrízicos: condições abióticas e de uso do solo que potenciam a sua presença e a frutificação

Maria Beatriz Batista Machado

Orientador(es) | Celeste Santos-Silva

Évora 2025



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Biologia da Conservação

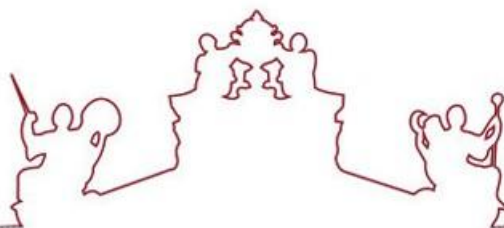
Dissertação

Macrofungos micorrízicos: condições abióticas e de uso do solo que potenciam a sua presença e a frutificação

Maria Beatriz Batista Machado

Orientador(es) | Celeste Santos-Silva

Évora 2025



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Paulo Sá-Sousa (Universidade de Évora)

Vogais | Celeste Santos-Silva (Universidade de Évora) (Orientador)
Rogério Filipe Agostinho Louro (Universidade de Évora) (Arguente)

Agradecimentos

Esta dissertação não teria sido possível sem as pessoas que me rodeiam, e a todas elas quero expressar a minha gratidão. Primeiramente, agradecer à Prof^a Dr^a Celeste Santos-Silva por tudo o apoio neste percurso e cuja orientação foi fundamental para a concretização deste trabalho. Quero também agradecer aos colegas de Mestrado, que tanto me ensinaram, e aos meus amigos que estiveram do meu lado desde o primeiro dia. Quero agradecer particularmente à Ariana Domingos, com quem realizei todas as saídas de campo e partilhei momentos inesquecíveis. Não posso deixar de agradecer à minha família, em especial aos meus pais, pois sem eles nada disto seria possível. Por fim, quero deixar uma nota de agradecimento a todas as pessoas que fizeram parte deste percurso - desde professores a aqueles que, mesmo de passagem, contribuíram para a minha formação não apenas profissional, mas pessoal. Saio deste Mestrado e desta instituição, que durante anos chamei de casa, uma pessoa mais rica em todos os níveis e áreas da minha vida, e por isso estarei eternamente grata.

Macrofungos micorrízicos: condições abióticas e de uso do solo que potenciam a sua presença e a frutificação

Resumo

Os macrofungos são fungos que produzem estruturas visíveis a olho nu (carpóforos), vulgarmente chamadas de cogumelos. Estes seres têm um papel fundamental no bem-estar dos ecossistemas e de nós, seres humanos. Contudo, estão sobre constante ameaça devido a fatores como o uso dos solos, alterações climáticas, entre outros. Para que seja possível proteger estes seres tão importantes para os ecossistemas em que estão inseridos é importante compreender que fatores influenciam o seu aparecimento. Como tal, o presente estudo tem como objetivos perceber quais as possíveis espécies hospedeiras que potenciam a ocorrência de espécies micorrízicas, de que maneira a vegetação local influencia a distribuição e a quantidade de macrofungos micorrízicos e que condições abióticas e de uso do solo influenciam a presença de macrofungos micorrízicos. Através de uma análise estatística, confirmou-se o forte papel de *Quercus sp.* como espécie hospedeira e verificou-se que zonas húmidas e uma maior humidade do ar potencia o aparecimento de macrofungos. Da mesma maneira, verificou-se que a presença de gado, temperaturas elevadas e outras espécies arbóreas limitam o aparecimento de macrofungos micorrízicos.

Palavras-chave: macrofungos micorrízicos; diversidade; espécies hospedeiras; condições climáticas; uso de solo; vegetação; zonas húmidas.

Mycorrhizal macrofungi: abiotic conditions and soil use that enhance their presence and fruiting

Abstract

Macrofungi are fungi that produce structures visible to the naked eye (carpophores), commonly called mushrooms. These beings play a fundamental role in the well-being of ecosystems and of us, human beings. However, they are under constant threat due to factors such as land use, climate change, among others. In order to protect these beings, which are so important to the ecosystems in which they are found, it is important to understand which factors influence their appearance. As such, the present study aims to understand which possible host species enhance the occurrence of mycorrhizal species, how local vegetation influences the distribution and quantity of mycorrhizal macrofungi, and which abiotic and land use conditions influence the presence of mycorrhizal macrofungi. Through a statistical analysis, the strong role of *Quercus* sp. was confirmed. as a host species and it was found that humid areas and higher air humidity enhance the appearance of macrofungi. Likewise, it was found that the presence of cattle, high temperatures and other tree species limit the appearance of mycorrhizal macrofungi.

Keywords: mycorrhizal macrofungi; diversity; host species; wheater conditions; land use; vegetation; wetlands.

Índice de tabelas

Tabela 1 - Distribuição dos 395 exemplares pelos 19 géneros e pelas 14 áreas de amostragem

Tabela 2 - Resultados dos índices de Berger-Parker, Simpson, Shannon e Pielou

Índice de figuras

Figura 1 - As duas espécies de *Cortinarius* (macrofungo micorrízico) encontradas no percursos - da esquerda para a direita *Cortinarius hemitrichus* e *Cortinarius trivialis*

Figura 2 - Aqueduto na zona 6 do percurso

Figura 3 - Percurso pedestre da Água de Prata - zona assinalada corresponde há área percorrida (7,3km); adaptado do folheto formativo da percurso ambiental da Água de Prata.

Figura 4 – Mapeamento das 14 áreas de amostragem obtido através da imagem global pertencente a *Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community*.

Figura 5 – Método de identificação numérica (*Daldinia concentrica* (amostra 172) - espécie sapróbia; *Amanita pantherina* (amostra 84) - espécie micorrízica)

Figura 6 - Distribuição espacial das amostragens obtido através da imagem global pertencente a *Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community*.

Figura 7 – Exemplares dos géneros descritos supra (de cima para baixo, da esquerda para a direita – *Astraeus hygrometricus*; *Scleroderma verrucosum*; *Amanita magnivolvata*; *Russula globispora*)

Figura 8 – Frequência relativa (%) e abundância relativa (%) dos 19 géneros de macrofungos amostrados

Figura 9 - Variação da temperatura (°C), precipitação (mm) e da humidade (%) no decorrer dos meses de amostragem

Índice de anexos

Anexo I - Dados das áreas (A - zona húmida; CobQ - cobertura de *Quercus*; CobO - cobertura de outros géneros G - presença de gado; MA - abundância de micorrízicos; MR - riqueza de micorrízicos; ABT - abundância total; RT - riqueza total)

Anexo II - Distribuição dos 395 exemplares pelas 38 espécies e pelas 14 áreas de amostragem

Anexo III - Áreas de amostragem do percurso da Água de Prata

Anexo IV – Dados das condições climáticas cinco semanas antes e durante o período de amostragem (MA – abundância de micorrízicos; MR – riqueza de micorrízicos; ABT – abundância total; RT – riqueza total; P-precipitação (mm); H-humidade (%); Tmd-temperatura média (°C); Tmi – temperatura mínima (°C); Tma – temperatura máxima (°C))

Índice

Agradecimentos.....	v
Macrofungos micorrízicos: condições abióticas e de uso do solo que potenciam a sua presença e a frutificação.....	vi
Resumo	vi
Mycorrhizal macrofungi: abiotic conditions and soil use that enhance their presence and fruiting.....	vii
Abstract	vii
Índice de tabelas.....	viii
Índice de figuras	ix
Índice de anexos.....	x
1. Introdução.....	13
1.1 História do Reino <i>Fungi</i>	13
1.2 Taxonomia.....	13
1.3 O que são fungos?	14
1.4 O que são macrofungos?	14
1.5 Fatores que influenciam a ocorrência de macrofungos.....	15
1.7 Fungos micorrízicos	16
1.7.1 Associações micorrízicas	17
1.8 Funções ecológicas dos fungos micorrízicos.....	18
1.8.1 Benefícios para as espécies vegetais.....	18
1.8.2 Benefícios para a estrutura do solo	19
1.8.3 Atenuação da lixiviação dos solos	19
1.8.4 Benefícios agrícolas	19
1.8.5 Proteção em solos contaminados	20
1.8.6 Fonte de alimento.....	20
1.10 Importância do percurso e do Aqueduto Água da Prata.....	21
1.10.1 História do aqueduto.....	21
1.11 Objetivos	22

2.	Metodologia	23
2.1	Área de estudo	23
2.2	Amostragem	24
2.3	Identificação	25
2.4	Tratamento de dados	25
3.	Resultados.....	27
3.1	Caraterização dos locais de amostragem.....	27
3.2	Amostragem de macrofungos.....	28
4.	Discussão de resultados	34
5.	Considerações finais	37
6.	Referências Bibliográficas	38
7.	Anexos	44

1. Introdução

Atualmente são reconhecidas 165 084 espécies de fungos (Species Fungorum, 2025). Contudo, pondera-se que este número seja bastante superior podendo variar entre os 2,2 e os 3,8 milhões. Considera-se que mais de 90% das espécies pertencentes ao reino *Fungi* sejam desconhecidas pela ciência até à data (Cheek *et al.*, 2020).

Embora não tenha sido alvo de estudo constante no passado, o reino *Fungi* é um dos mais diversos em termos de espécies e, atualmente, a sua extrema importância para o bom funcionamento dos ecossistemas é reconhecida por cientistas a nível global.

1.1 História do Reino *Fungi*

Por não terem a mesma capacidade de movimento que os indivíduos do reino *Animalia*, por vários séculos os fungos estiveram incluídos no reino *Plantae*. Contudo, atualmente, com os avanços científicos foi possível observar e determinar que os fungos são geneticamente mais aparentados com os animais do que com as plantas (Santos-Silva e Louro, 2022). Foi somente em 1969, quando Robert Whittaker (*"New Concepts of Kingdoms of Organisms"*) propôs um sistema de cinco reinos (*Monera*, *Protista*, *Fungi*, *Plantae* e *Animalia*), que os fungos foram reconhecidos como um reino independente (Whittaker, 1969; Cavalier-Smith, 2001). Este novo sistema foi criado tendo em atenção três critérios principais, nomeadamente, o nível de organização celular (diferencia as células procarióticas das eucarióticas e a unicelularidade da multicelularidade), o modo de nutrição (autotrófico ou heterotrófico) e as interações com o ecossistema (consumidores ou produtores) (Moreira, 2014; Richard *et al.*, 2017).

1.2 Taxonomia

De acordo com a classificação de Tedersoo *et al.* (2018), o reino *Fungi* está organizado em 9 subreinos, 18 divisões (*Basidiomycota*, *Ascomycota*, *Entorrhizomycota*, *Calcarisporiellomycota*, *Glomeromycota*, *Mortierellomycota*, *Mucoromycota*, *Entomophthoromycota*, *Kickxellomycota*, *Zoopagomycota*, *Chytridiomycota*, *Monoblepharomycota*, *Neocallimastigomycota*, *Aphelidiomycota*, *Basidiobolomycota*, *Blastocladiomycota*, *Olpidiomycota* e *Rozellomycota*), 23 subdivisões, 74 classes, 215 ordens, 731 famílias e 5377 géneros.

Basidiomycota e *Ascomycota* são conhecidos como fungos superiores (Santos-Silva e Louro, 2022) e é sobre estes dois *taxa* que o presente trabalho incide.

A divisão *Basidiomycota* é caracterizada por ter na sua composição estruturas produtoras de esporos denominadas basídios (Naranjo-Ortiz e Gabaldón, 2019). É no exterior destas estruturas que são produzidos os basidiósporos (Costa *et al.*, 2011). Esta

divisão contém os seres mais complexos relativamente ao ciclo celular e à multicelularidade (Naranjo-Ortiz e Gabaldón, 2019).

A divisão *Ascomycota* é a divisão com o maior número de espécies descritas, em parte, devido ao seu importante papel económico (leveduras e bolores) (Naranjo-Ortiz e Gabaldón, 2019; Costa *et al.*, 2011). Em contraste com os basidiomicetes, os ascomicetes, contém uma estrutura reprodutora em forma de saco (ascos) (Naranjo-Ortiz e Gabaldón, 2019; Costa *et al.*, 2011) em que são produzidos os esporos (ascósporos) (Costa *et al.*, 2011).

1.3 O que são fungos?

O reino *Fungi* é caracterizado por organismos eucariontes (Roberson, 2020; Naranjo-Ortiz e Gabaldón, 2019) cujas células são revestidas por uma parede celular composta principalmente por quitina e glucanos, em proporções variáveis consoante o grupo taxonómico (Naranjo-Ortiz e Gabaldón, 2019; Moreira, 2014). Estes seres não têm na sua composição os pigmentos necessários para captar a luz solar (clorofila) e, consequentemente, realizar fotossíntese (Pacioni, 1993; Santos-Silva e Louro, 2022; Moreira, 2014). Assim, os fungos não têm a capacidade de produzir o próprio alimento estando dependentes da matéria orgânica existente no meio e de outros seres vivos para sobreviverem (Santos-Silva e Louro, 2022). Assim sendo, os fungos são considerados heterotróficos por se nutrirem por absorção (Moreira, 2014; Roberson, 2020). Os fungos libertam enzimas na extremidade das suas hifas, promovendo a degradação extracelular de compostos orgânicos complexos em moléculas mais simples e solúveis, que são então absorvidas para obterem a energia necessária ao seu metabolismo (Deacon, 2006).

Os fungos podem reproduzir-se tanto sexualmente como assexualmente através da produção de esporos (Santos-Silva e Louro, 2022; Tang *et al.*, 2015).

1.4 O que são macrofungos?

Os macrofungos abrangem os fungos com capacidade de produzir corpos frutíferos (estruturas reprodutoras) macroscópicas, os quais são vulgarmente conhecidas como cogumelos. Estes podem ser encontrados no solo, num substrato orgânico vivo (plantas) ou em matéria em decomposição (Pacioni, 1993; Tang *et al.*, 2015).

Os macrofungos podem ser classificados de acordo com o modo de nutrição em parasitas, sapróbios ou micorrízicos. Os macrofungos parasitas obtêm os nutrientes de que necessitam ao estabelecerem uma ligação de parasitismo com seres vivos o que pode resultar em danos no hospedeiro. Os macrofungos sapróbios recorrem à decomposição do substrato em que estão inseridos para obterem os nutrientes de que necessitam, contribuindo para a reciclagem de nutrientes (Santos-Silva e Louro, 2022; Tedersoo *et al.*,

2018). Os macrofungos micorrízicos, alvo deste estudo, estão dependentes das espécies hospedeiras e, por isso, recorrem à criação de uma relação de simbiose mutualista com as mesmas. Desta forma, os fungos obtêm os produtos fotossintéticos de que necessitam para a sua sobrevivência enquanto auxiliam a espécie hospedeira na captação de água e nutrientes (Tang *et al.*, 2015; Santos-Silva e Louro, 2022).

1.5 Fatores que influenciam a ocorrência de macrofungos



Figura 1 - As duas espécies de *Cortinarius* (macrofungo micorrízico) encontradas no percurso - da esquerda para a direita *Cortinarius hemitrichus* e *Cortinarius trivialis*

A presença e o desenvolvimento das plantas hospedeiras são fatores decisivos para a ocorrência de macrofungos, mas não são os únicos. Existem vários outros que influenciam o seu aparecimento nos ecossistemas.

Os períodos de frutificação das espécies macrofúngicas variam entre si, sendo as épocas de excelência para a frutificação o outono e a primavera (Gama, 2021). Todavia, os macrofungos necessitam de condições específicas para o seu aparecimento.

A frutificação pode ser influenciada pela topografia do local. As diferentes características físicas (por exemplo, declive) de uma determinada área criam micro habitats o que se traduz em alterações em fatores como a humidade, a temperatura e a incidência de luz solar (Hu *et al.*, 2022).

A humidade e a precipitação são fatores importantes na ocorrência de macrofungos. Locais onde a precipitação e/ou a humidade são mais elevadas tendem a ser mais propícios ao aparecimento de macrofungos (Hu *et al.*, 2022). A humidade mais elevada garante que o solo permaneça húmido por mais tempo criando condições favoráveis para a frutificação.

Além da precipitação e da humidade, a temperatura desempenha um papel fundamental para o aparecimento de macrofungos. Os macrofungos apresentam um intervalo térmico ideal para a frutificação sendo que este ronda os 20°C (Hu *et al.*, 2022).

1.6 Ameaças

Tendo em conta que os ecossistemas são sistemas abertos, é importante considerar que qualquer alteração irá afetar todo o ecossistema. Alguns macrofungos necessitam de condições ambientais muito específicas para sobreviver e frutificar, sendo particularmente sensíveis a variações no clima, tipo de solo ou presença de espécies hospedeiras.

De acordo com a IUCN (2024), a sobrevivência e a ocorrência dos fungos estão a ser ameaçadas por:

- I. Desenvolvimento áreas urbanas, industriais e de lazer – destruição de habitats;
- II. Aumento/criação de zonas para pecuária e de monoculturas – fragmentação de habitats e degradação do solo;
- III. Alteração das áreas naturais para a exploração de recursos – contaminação dos solos e de corpos de água;
- IV. Expansão de estradas e ferrovias;
- V. Má prática na colheita de plantas terrestres e de extração de madeira
- VI. Perturbações devido a atividades antropológicas – aumento da poluição, destruição de habitats e degradação dos solos;
- VII. Modificações nas áreas naturais – destruição áreas naturais e alterações no regime hidrológico da zona;
- VIII. Espécies e doenças invasoras;
- IX. Poluição – contaminação de solos e de corpos de água;
- X. Eventos geológicos.
- XI. Mudanças climáticas – eventos climáticos extremos (secas, inundações, tempestades, etc.) e alterações nos padrões de precipitação e de temperatura.

1.7 Fungos micorrízicos

Como referido supra, os fungos micorrízicos, estão dependentes das espécies hospedeiras, recorrendo a uma relação de simbiose mutualista com as mesmas. Assim, os fungos obtêm os recursos de que necessitam enquanto auxiliam a espécie hospedeira na captação de água e nutrientes (Tang *et al.*, 2015; Santos-Silva e Louro, 2022).

Os fungos micorrízicos podem ser classificadas como endomicorrízicos, ectomicorrízicos ou ectendomicorrízicos (Souza *et al.*, 2006; Stephenson e Gall, 2022) consoante a relação morfológica que mantêm com o hospedeiro (Bergero *et al.*, 2000).

A produção de macrofungos micorrízicos está frequentemente associada a fungos ectomicorrízicos, os quais podem pertencer tanto à divisão Ascomycota como à Basidiomycota. No entanto, a maioria das espécies ectomicorrízicas que produzem corpos frutíferos visíveis (macrofungos) — incluindo exemplos mais conhecidos, como, por exemplo, *Amanita muscaria* e *Boletus edulis* — pertencem à divisão Basidiomycota (Stephenson e Gall, 2022).

1.7.1 Associações micorrízicas

A associação ectomicorrizica inicia-se quando as hifas do fungo encontram o sistema radicular de uma potencial planta hospedeira (Stephenson e Gall, 2022). Após o contacto, as hifas irão colonizar e originar uma cobertura na parte externa da raiz conhecida como manto (Souza *et al.*, 2006; Stephenson e Gall, 2022). Esta estrutura é diferenciada em duas camadas: externa e interna (Stephenson e Gall, 2022). Na ectomicorriza, a associação fúngica com a raiz da planta forma três estruturas principais: o manto, a rede de Hartig e o micélio extraradicular. O manto é uma camada externa densa formada por hifas entrelaçadas que reveste a superfície da raiz. A partir deste manto, desenvolve-se o micélio extraradicular, composto por hifas que se estendem para o solo, aumentando significativamente a área de absorção de nutrientes e água. Por outro lado, a rede de *Hartig* é formada por hifas mais finas que penetram entre as células da epiderme e córtex da raiz (mas sem as invadir), criando uma interface de troca de nutrientes entre o fungo e a planta (Souza *et al.*, 2006; Stephenson e Gall, 2022).

Esta rede de micélios pode estender-se por quilómetros (Stephenson e Gall, 2022). Alguns fungos micorrízicos apresentam um comportamento generalista, podendo estabelecer associações simultâneas com várias plantas da mesma ou de diferentes espécies. Outros, no entanto, são mais especialistas e formam micorrizas apenas com um número limitado de hospedeiros. De forma inversa, uma mesma planta também pode associar-se com diferentes espécies de fungos micorrízicos. (Heijden e Horton, 2009; Santos-Silva e Louro, 2022; Chen *et al.*, 2018). Desta forma, diversas espécies vegetais ficam interligadas por diversas espécies de fungos micorrízicos criando uma rede micorrízica comum, conhecida por *wood-wide-web* (Heijden e Horton, 2009; Alaux *et al.*, 2021).

Estas redes micorrízicas comuns podem incluir associações com espécies pertencentes a várias famílias de plantas, como a Fagaceae (faias e carvalhos), Salicaceae (salgueiros e choupos) e Pinaceae (pinheiros) (Souza *et al.*, 2006).

1.8 Funções ecológicas dos fungos micorrízicos

Os fungos desempenham diversas funções ecológicas e prestam diversos serviços ecossistémicos sendo vitais tanto para os ecossistemas como para os seres humanos (Chethana *et al.*, 2021; Santos-Silva e Louro, 2022; Amazonas, 2003). Os fungos micorrízicos beneficiam a produtividade dos ecossistemas florestais e, consequentemente, desempenham um papel fundamental no sequestro de carbono (Santos-Silva e Louro, 2022; Amazonas, 2003).

1.8.1 Benefícios para as espécies vegetais

Como referido anteriormente, a associação entre o fungo e a planta resulta num aumento da área de absorção radicular o que auxilia a planta hospedeira, em condições de stress ambiental (secas, deficit de nutrientes, entre outros) e na captação de recursos como água e sais minerais (fósforo (P) e nitrogénio (N), por exemplo) (Souza *et al.*, 2006; Simard e Austin, 2010; Martin, 2017; Pacioni, 1993; Singh *et al.*, 2022).

Deste modo, as plantas micorrízicas apresentam uma maior resistência e tolerância a condições desfavoráveis (Alaux *et al.*, 2021) ou a doenças (Singh *et al.*, 2022), o que, para além de resultar numa melhoria do fitness da planta, auxilia também na reação a ataques por parte de patogénicos rizosféricos (Singh *et al.*, 2022), através da libertação de compostos antimicrobianos e da competição por espaço e por recursos (Chen *et al.*, 2018; Santos-Silva e Louro, 2022; Amazonas, 2003).

Desta forma, os fungos micorrízicos atuam como biorreguladores, ao influenciarem o desenvolvimento das espécies vegetais, e como bioprotetores, ao contribuírem para o bem-estar dos indivíduos, protegendo-os de situações de stress ambiental (Chen *et al.*, 2018).

Estudos mostram que indivíduos associados a estes fungos tendem a desenvolver-se melhor do que aqueles sem estas associações (Souza *et al.*, 2006; Santos-Silva e Louro, 2022; Chen *et al.*, 2018). Assim, há uma maior estabilidade na comunidade de espécies vegetais uma vez que os indivíduos mais fracos beneficiam da ligação com os indivíduos mais fortes ao terem acesso à sua rede de nutrientes. Ao auxiliarem os indivíduos mais fracos, os mais fortes contribuem para uma diminuição da competitividade entre os diversos indivíduos (Chen *et al.*, 2018).

1.8.2 Benefícios para a estrutura do solo

Os fungos micorrízicos também ajudam a estabilizar a estrutura do solo ao contribuírem para o desenvolvimento e funcionamento do sistema radicular das plantas. O micélio propicia a agregação das partículas no solo o que, por sua vez, leva à proteção e ao aumento da resistência contra elementos externos, nomeadamente, o vento e a água (Chen *et al.*, 2018).

1.8.3 Atenuação da lixiviação dos solos

A lixiviação de nutrientes leva à perda da fertilidade do solo e à poluição de águas subterrâneas e superficiais (Chen *et al.*, 2018).

Os fungos micorrízicos podem combater a lixiviação dos solos em duas vertentes. Primeiramente, através da melhoria da estrutura do solo. Em segundo lugar, com o sistema radicular das plantas expandido e melhorado, há uma maior retenção de nutrientes e de água no solo, resultando num maior sequestro de nutrientes. Este efeito é particularmente benéfico em solos arenosos ou em solos agrícolas com baixos a moderados níveis de fertilização, onde a simbiose micorrízica é mais eficaz (Chen *et al.*, 2018). Em contrapartida, solos com elevados teores de azoto (N) podem inibir essa associação. Assim, ao promover uma maior retenção de nutrientes no solo, os fungos micorrízicos contribuem para reduzir a lixiviação e, conseqüentemente, diminuem o risco de contaminação de corpos de água.

1.8.4 Benefícios agrícolas

Em contextos agrícolas, segundo Chen *et al.* (2018) e Singh *et al.* (2022), os fungos micorrízicos contribuem para uma produção mais rentável ao:

- I. Protegerem as espécies hospedeiras das elevadas concentrações de sal presentes no solo;
- II. Melhorarem o desempenho de bactérias fixadoras de nitrogénio;
- III. Aumentarem a resistência das plantas;
- IV. Contribuírem para o aumento da produção e sucesso reprodutivo;
- V. Reduzirem perdas agrícolas ao aumentarem o *fitness* da planta e ao contribuírem para o seu crescimento;
- VI. Aumentarem a disponibilidade de água;
- VII. Atuarem como biofertilizantes ao aumentarem a absorção de nutrientes;
- VIII. Aumentarem a capacidade de sobrevivência e de estabelecimento das plantas durante a sementeira;
- IX. Melhorarem a germinação ao contribuírem para a quebra da dormência das sementes;

- X. Reduzirem a translocação de metais pesados para a parte aérea da planta ao ligar esses metais às paredes celulares das hifas auxiliando, assim, as plantas a sobreviverem em solos contaminados.

1.8.5 Proteção em solos contaminados

Os fungos micorrízicos atuam como protetores do solo contra metais pesados. Contudo, ambas as estratégias requerem fungos e plantas hospedeiras com elevada tolerância a metais pesados e capacidade de produzir grande biomassa (Chen et al., 2018).

Numa primeira abordagem, os fungos atuam na estabilização dos metais pesados, acumulando-os nos seus próprios tecidos e limitando a sua mobilidade no solo, de forma a proteger a planta hospedeira da contaminação por elementos tóxicos.

Numa segunda abordagem, os fungos contribuem para a extração dos metais pesados ao transferi-los para a planta hospedeira. Posteriormente, ao remover-se a biomassa contaminada da planta, há uma redução efetiva da quantidade de metais pesados no solo (Chen et al., 2018).

1.8.6 Fonte de alimento

Muitos fungos ectomicorrízicos representam uma fonte de alimento não só para animais, mas também para nós, seres humanos (Amazonas, 2003; Souza *et al.*, 2006).

Por servirem de alimentos para inúmeras espécies animais, estes macrofungos contribuem para a estabilidade das comunidades florestais (Souza *et al.*, 2006) e das cadeias tróficas, o que se traduz num sistema mais estável e saudável.

1.9 Influência vegetal

A distribuição de fungos micorrízicos está associada às espécies vegetais presentes no ecossistema.

Apesar da sua ampla distribuição, os fungos ectomicorrízicos são seletivos nas associações que estabelecem com as plantas hospedeiras. Estes fungos estabelecem associações com cerca de 10% das famílias de plantas, principalmente lenhosas, como as bétulas, os carvalhos e os pinheiros. Esta especificidade realça a complexidade das relações entre os fungos e as plantas do meio (Singh *et al.*, 2022).

Entre as famílias com afinidade para criar estas ligações, destacam-se a *Fagaceae*, a *Salicaceae* e a *Pinaceae* (Souza *et al.*, 2006), como referido supra.

A família *Fagaceae*, que inclui faias (*Fagus*) e carvalhos (*Quercus*), é encontrada maioritariamente no hemisfério norte. As espécies pertencentes a esta família são

utilizadas frequentemente em situações de reflorestação e para fins ornamentais por serem espécies dominantes (Wu *et al.*, 2018).

A família *Salicaceae* abrange salgueiros (*Salix*) e choupos (*Populus*). As espécies características destes grupos encontram-se dispersas pelo globo sendo utilizadas com o intuito de proteger os solos e de fornecer madeira (Aperlo *et al.*, 2023).

Por fim, a família *Pinaceae*, inclui pinheiros (*Pinus*), que se adaptam com facilidade a variados ecossistemas e apresentam uma grande resistência e tolerância às condições ambientais dos locais em que estão inseridos (LaMontagne *et al.*, 2021).

1.10 Importância do percurso e do Aqueduto Água da Prata

Há uma componente social e histórica que confere ao aqueduto um significado especial para a população local, como se evidencia pelo facto de, apesar de estar em desuso, continuar bastante presente no seu quotidiano, assumindo-se como um monumento de elevada importância histórica e cultural.

Os percursos pedestres têm vindo a ganhar reconhecimento como formas relevantes de lazer e contacto com a natureza. Este aumento de uso reforça a necessidade de conhecer as espécies presentes nesses locais, tanto para minimizar impactos negativos como para aprofundar o estudo dos organismos e das funções ecológicas que desempenham nos respetivos ecossistemas.

1.10.1 História do aqueduto

O Aqueduto da Água da Prata (Figura 2) é uma estrutura hidráulica (1534-1537) (18 km) (Câmara Municipal Évora, 2023) pensada por D. Manuel, iniciada por D. João II e finalizada durante o reinado de D. João III que se sobrepõe ao antigo aqueduto de origem romana (Bilou, 2009). Esta estrutura foi desenhada com o intuito de transportar a água desde a nascente (Graça do Divor) até à cidade de Évora, assegurando o seu abastecimento (Bilou, 2009; Claro, 2019).

O nome atribuído advém, possivelmente, da cor prateada da água ou do facto das principais nascentes se localizarem na Herdade da Prata (Claro, 2019).

Com a construção do aqueduto, a zona que em tempos dependia dos cursos de água naturais passou a dispor de um abastecimento mais regular, o que permitiu o seu desenvolvimento e prosperidade.

O aqueduto desempenhou um papel fundamental no crescimento e no desenvolvimento da cidade de Évora (Claro, 2019).

Apesar de não dispor da mesma finalidade, o aqueduto, continua a carregar um imenso valor histórico e patrimonial para a cidade. De tal forma que, em 2008, foi criado o “Percurso Ambiental da Água da Prata” (Claro, 2019; Bilou, 2009).



Figura 2 - Aqueduto na zona 6 do percurso

1.11 Objetivos

O foco desta dissertação foi o estudo de macrofungos micorrízicos tendo em atenção a vegetação presente de modo a perceber quais os fatores mais relevantes para a ocorrência das espécies fúngicas e de que modo a presença de potenciais espécies hospedeiras afetam a quantidade e diversidade de espécies micorrízicas.

No decorrer deste estudo várias análises foram efetuadas com o intuito de perceber:

- I. Quais as espécies vegetais que potenciam a ocorrência de espécies micorrízicas.
- II. De que maneira a vegetação local influencia a distribuição e a quantidade de macrofungos micorrízicos.
- III. Que condições abióticas (humidade) e de uso do solo (existência de pastoreio) influenciam a presença de macrofungos micorrízicos.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

Este estudo foi realizado no percurso pedestre da Água da Prata que se encontra entre as freguesias de Évora e Graça do Divor. Ao longo do percurso, encontram-se áreas de montado de sobro e azinho, olivais, pastagens e habitats ripícolas, incluindo corredores vegetados e zonas ribeirinhas. As particularidades ecológicas de cada área, como a vegetação dominante ou o grau de perturbação do solo, têm influência direta e indireta na frutificação dos macrofungos micorrízicos. Muitas das espécies vegetais presentes são hospedeiras potenciais, desempenhando um papel essencial no estabelecimento destas simbioses.

O percurso em questão consiste em 8,3 km, dos quais aproximadamente 1 km encontra-se numa área urbana com pouco interesse para o estudo em questão. Assim, apenas foram analisados 7,3 km onde é mais propício o aparecimento dos organismos em estudo (Figura 3).



Figura 3 - Percurso pedestre da Água de Prata - zona assinalada corresponde há área percorrida (7,3km); adaptado do folheto formativo da percurso ambiental da Água de Prata.

2.2 Amostragem

O percurso da Água da Prata foi percorrido a pé com o objetivo de observar e registrar a presença de todos os macrofungos. As 25 saídas foram realizadas semanalmente atendendo às condições consideradas favoráveis ao surgimento desses macrofungos, nomeadamente, temperatura, precipitação e humidade. As saídas de campo – iniciadas em outubro - cessaram no mês de fevereiro após 5 saídas em que não se observou quaisquer macrofungos.

No campo, foram observadas e registadas, uma única vez, as características locais e determinada a percentagem de cobertura da vegetação em cada área de amostragem. O monitoramento da abundância e diversidade dos macrofungos, por outro lado, foi realizado de forma repetida, com saídas semanais.

Os locais de amostragem foram marcados com recurso à função GPS do telemóvel para que seja possível ter uma perspetiva mais ampla da distribuição dos macrofungos ao longo do percurso.

O percurso foi dividido em 14 parcelas (Figura 4), levando em consideração fatores como o tipo de vegetação, percentagem de cobertura vegetal e suas características, fatores abióticos (humidade) e uso do solo (pastoreio). Cada parcela tem, sempre que possível, uma largura sensivelmente de 3 metros de modo a permitir a recolha de amostras que estejam mais afastadas do percurso delineado.

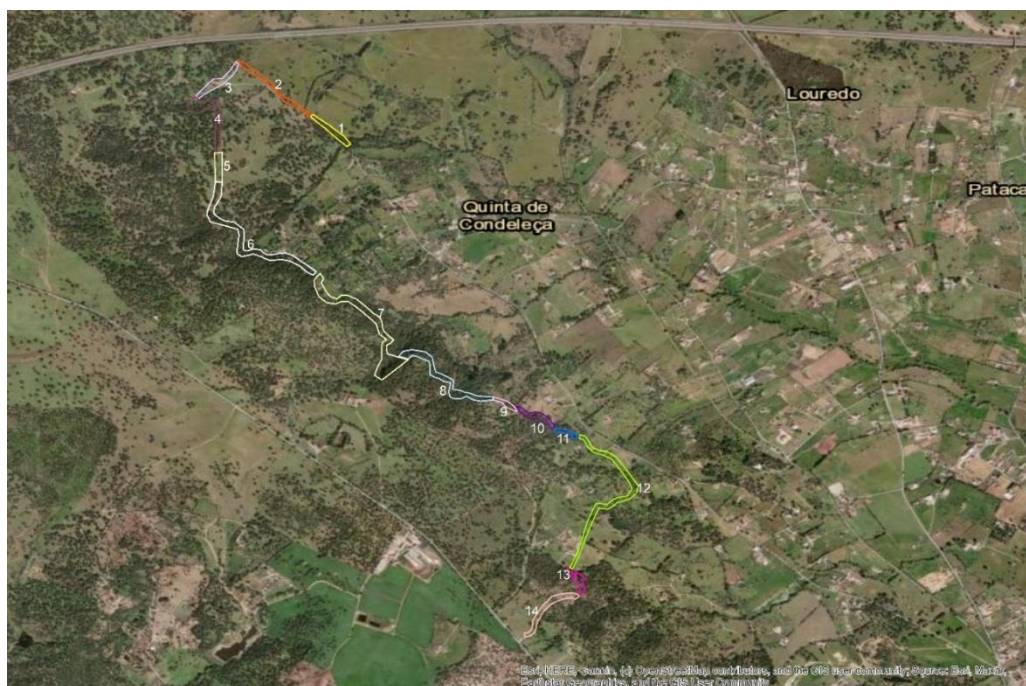


Figura 4 – Mapeamento das 14 áreas de amostragem obtido através da imagem global pertencente a *Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community*.

No campo, os macrofungos coletados foram fotografados previamente e armazenados em recipientes adequados com a identificação numérica correspondente (Figura 5). Foram ainda registados todos os parâmetros que poderiam vir a sofrer alterações até a chegada ao laboratório, tais como o cheiro, a cor e a textura.



Figura 58 – Método de identificação numérica (*Daldinia concentrica* (amostra 172) - espécie sapróbia; *Amanita pantherina* (amostra 84) - espécie micorrízica)

2.3 Identificação

No laboratório, para cada exemplar, foram observadas e registadas as características microscópicas e macroscópicas.

Sempre que possível, os exemplares, foram determinados taxonomicamente até à espécie e, posteriormente, determinado a qual grupo trófico pertencem. Para que esta identificação fosse possível, foi necessário recorrer a guias, chaves dicotómicas e outras bibliografias de especialidade como por exemplo Bon (2004), Breitenbach e Kränzlin (1984-2000), Frade e Alfonso (2003), Gerhardt *et al.* (2000), Kränzlin (2005) e Muñoz (2005).

Após a identificação, os exemplares foram colocados em estufa de maneira a preservá-los adequadamente. Posteriormente, foram inseridos no herbário da universidade de Évora (UEVH-Fungi) para que seja possível utilizar estas amostras para futuras pesquisas.

2.4 Tratamento de dados

Os dados foram analisados com a finalidade corresponder aos objetivos definidos. Foram efetuadas análises qualitativas e quantitativas de modo a perceber e compreender

as relações entre as variáveis aplicáveis e a distribuição de macrofungos micorrízicos. Para tal recorreu-se aos *software* ArcMap 10.3.1, Microsoft Excel e IBM SPSS Statistics.

A diversidade e riqueza dos macrofungos foi determinada no Microsoft Excel com recurso aos índices de diversidade de Shannon-Wiener (H'), diversidade de Simpson (C), Equabilidade de Pielou (J) e de Dominância de Berger-Parker (d). Para tal, foram considerados os dados agrupados por espécie de macrofungos. Foi ainda determinada a frequência de cada espécie.

Em SPSS, para as 14 áreas de amostragem, realizou-se a correlação de Spearman entre a abundância e a riqueza de macrofungos em que, para além dos micorrízicos se usaram os valores da totalidade dos macrofungos amostrados e a percentagem de cobertura de espécies arbóreas, respetivamente para as do género *Quercus* e para as restantes espécies (por exemplo, oliveira e eucalipto), a presença de gado e de zonas húmidas, de modo a perceber de que forma estes fatores influenciavam o seu aparecimento.

A correlação de Spearman ainda foi utilizada para perceber de que forma as condições climáticas influenciaram o aparecimento dos macrofungos ao longo do período de amostragem. Para tal, utilizou-se os dados semanais de temperatura (mínima, média e máxima), precipitação e humidade (dados obtidos através da estação amadora *MeteoBacelo – IVORA40*).

Em ArcMap recorreu-se a ferramentas para obter uma visão mais abrangente da distribuição (Figura 6) das amostras e para tentar retirar algumas conclusões visuais sobre a mesma.



Figura 6 - Distribuição espacial das amostragens obtido através da imagem global pertencente a Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community.

3. Resultados

3.1 Caracterização dos locais de amostragem

O conhecimento das características das zonas de amostragem é fundamental para compreender que fatores influenciam o aparecimento de macrofungos, especialmente, no caso de macrofungos micorrízicos. Atendendo a esta necessidade, ao longo do percurso, foram analisadas as características das zonas de amostragem e, tendo em conta os resultados obtidos, identificadas 14 áreas de amostragem (Anexo III).

Cada área tem características distintas. Ao analisar individualmente todas as áreas foi possível obter as seguintes descrições (Anexo I):

- **Área 1** – Verifica-se uma predominância do *Quercus suber* e uma presença pontual da *Quercus rotundifolia* e *Quercus coccifera*. As outras espécies vegetais consideradas para o estudo (oliveira, freixo e eucalipto) não se encontram neste local. A cobertura vegetal é de cerca de 80%. Esta área, ainda que ligeiramente húmida, não foi considerada como tal, a presença de gado foi muito pontual sendo que ambos estes dados não foram tidos em consideração durante a avaliação do local.
- **Área 2** – verificou-se a existência de alguns indivíduos das espécies *Quercus rotundifolia* e *Quercus coccifera* sendo que a cobertura vegetal desta área é apenas

de 5%. Esta área não foi considerada como húmida e não se verificou a presença de gado.

- **Área 3** – notou-se uma presença de gado bovino muito intensa e uma cobertura vegetal extremamente reduzida (1%). Esta área está enquadrada numa zona de montado de sobro.
- **Área 4** – zona bastante húmida com a presença de um corpo de água. A cobertura vegetal deste local é de 70% sendo que predomina as espécies do género *Quercus* (*Quercus suber* e *Quercus rotundifolia*).
- **Área 5** – Muito poucos exemplares de *Quercus suber* sendo que a cobertura vegetal do local é de 1%. Neste local também se verificou uma forte presença de gado bovino.
- **Área 6** – A cobertura vegetal é elevada (80%) e é possível encontrar-se vários exemplares pertencentes aos géneros *Quercus* (50%) e *Eucalyptus* (30%).
- **Área 7** – Neste local, para além de várias espécies de *Quercus* (10%), há uma forte presença de espécies eucaliptos e de vegetação ripícola (p.e.: freixo) (20%) o que resulta numa cobertura vegetal de aproximadamente 30%. Esta área é bastante húmida tendo presente uma ribeira.
- **Área 8** – Nesta zona bastante húmida com um corpo de água, a cobertura vegetal é sensivelmente de 25% (20% de *Quercus* e 5% de outros géneros). Apesar de estar enquadrada numa área de montado de sobro é possível encontrar alguma vegetação ripícola e eucaliptos.
- **Área 9** – Nesta área do percurso não existe espécies do género *Quercus*, sendo que a vegetação presente limita-se a árvores de pomar e a eucaliptos. A cobertura vegetal deste local corresponde a 20%.
- **Área 10** – A vegetação deste local cinge-se a azinheiras (4%), oliveiras e eucaliptos (6%), o que resulta numa cobertura de 10%.
- **Área 11** – A cobertura vegetal é de 45%, sendo que apenas foram encontradas espécies de *Quercus suber*.
- **Área 12** – zona de montado de sobro em que a cobertura vegetal ronda os 10%.
- **Área 13** – Zona de montado de sobro denso com cobertura de 40%.
- **Área 14** – Zona de montado de sobro mais espaçado com uma presença de gado ovino muito elevada. A cobertura vegetal é bastante reduzida com apenas 1%.

3.2 Amostragem de macrofungos

Durante o período de amostragem foram registados 395 exemplares (corpos frutíferos) de macrofungos micorrízicos. Em termos taxonómicos, identificaram-se 38 espécies distintas (Anexo II), distribuídas por 19 géneros diferentes (Tabela 1).

Tabela 1 - Distribuição dos 395 exemplares pelos 19 géneros e pelas 14 áreas de amostragem

	área 1	área 2	área 3	área 4	área 5	área 6	área 7	área 8	área 9	área 10	área 11	área 12	área 13	área 14	Total
<i>Astraeus</i>	19	12	11	0	0	5	0	0	0	0	0	4	6	5	62
<i>Amanita</i>	30	8	0	3	0	7	0	1	0	0	3	1	3	0	56
<i>Boletus</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Clavulina</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Cortinarius</i>	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	8
<i>Craterellus</i>	0	0	0	0	0	5	0	0	2	1	0	0	0	0	8
<i>Helvella</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Inocybe</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	16
<i>Lactarius</i>	0	4	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	7
<i>Leccinellum</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Paragalactinia</i>	0	0	0	0	0	0	1	8	0	0	0	0	0	0	9
<i>Phaeoclavulina</i>	0	0	0	17	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	36
<i>Peziza</i>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Russula</i>	14	4	0	3	2	15	0	8	0	0	5	1	4	0	56
<i>Scleroderma</i>	10	2	0	4	0	15	1	12	1	2	18	11	6	1	83
<i>Suillellus</i>	2	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	7
<i>Tricholoma</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Xerocomellus</i>	0	17	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	21
<i>Xerocomus</i>	3	0	0	3	0	0	0	3	0	1	1	0	4	0	15
Abundância	86	47	11	40	2	49	4	54	5	4	27	17	43	6	395
Riqueza	8	6	1	10	1	7	3	7	3	3	4	4	8	2	

Destes géneros destaca-se o género *Scleroderma* com uma abundância relativa de 21%, o género *Astraeus* com 15% seguido dos géneros *Amanita* e *Russula* com 14%. Relativamente à frequência relativa de cada género, o mais frequente é o género *Scleroderma* (56%), seguido pelos géneros *Russula* (48%) e *Amanita* (36%) (Figura 7 e 8).



Figura 7 – Exemplares dos géneros descritos supra (da esquerda para a direita, de cima para baixo – *Astraeus hygrometricus*; *Scleroderma verrucosum*; *Amanita magnivolvata*; *Russula globispora*)

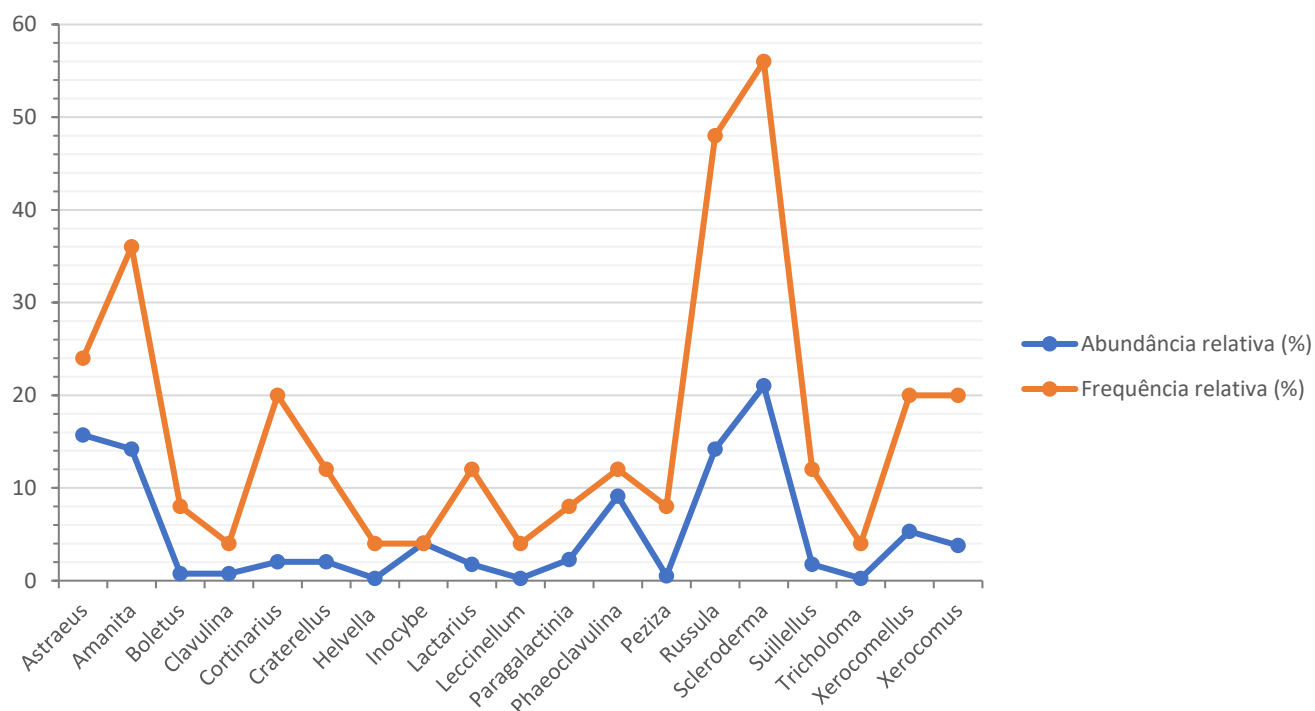


Figura 8 – Frequência relativa (%) e abundância relativa (%) dos 19 gêneros de macrofungos amostrados

Verificou-se que o mês de dezembro contou com mais exemplares em comparação aos restantes meses de amostragem (dezembro=170, novembro=154, janeiro=44, outubro=27, fevereiro=0). No entanto, dezembro foi o mês de menor precipitação e temperatura, mas foi o mês de maior humidade (Figura 9).

Verificou-se também que o mês de novembro foi o mais rico em termos de número de espécies diferentes (novembro = 30, dezembro = 18, janeiro = 6, outubro = 1, fevereiro = 0). No entanto, novembro apresentou temperaturas mais baixas (foi o terceiro mês mais frio), registou níveis reduzidos de precipitação e, ainda assim, apresentou os valores de humidade relativa mais elevados (Figura 9).

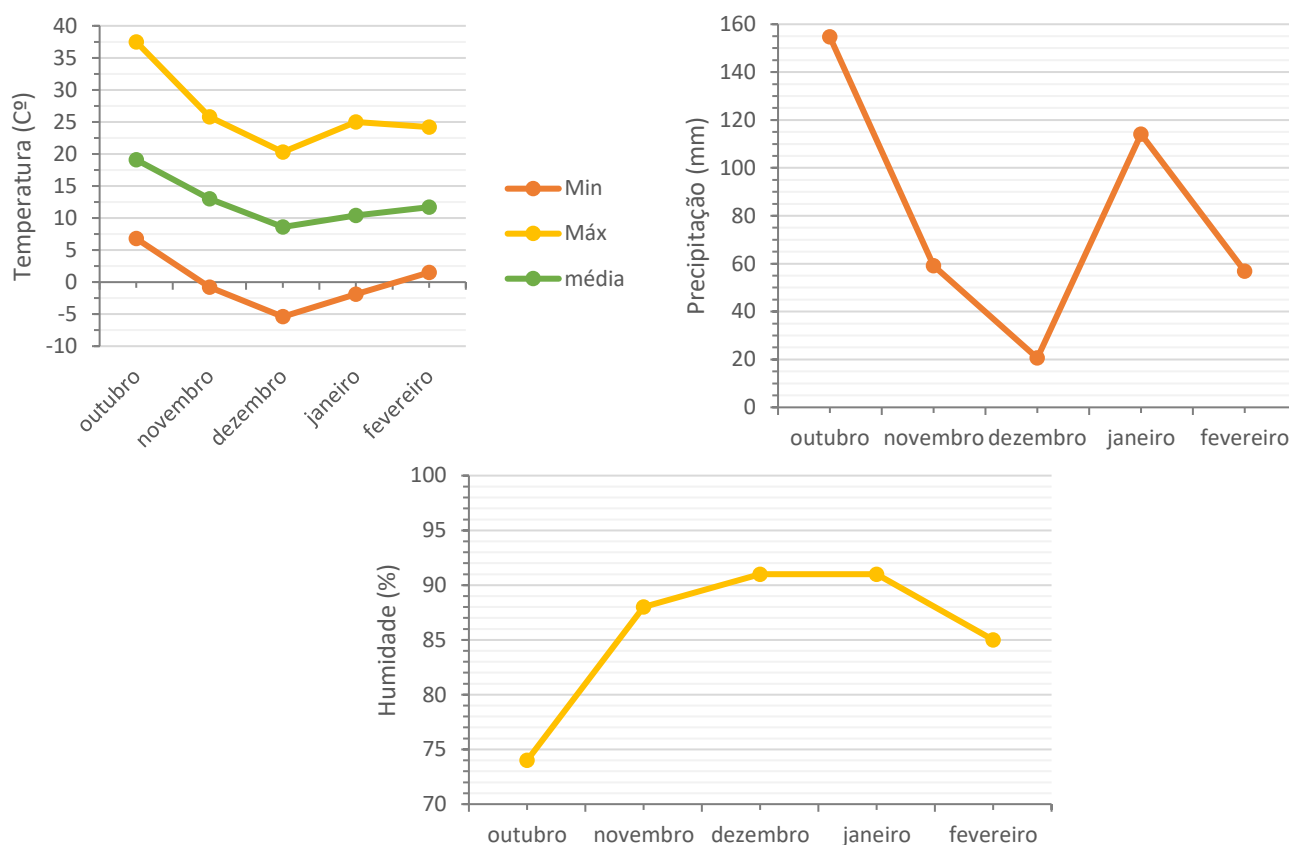


Figura 9 - Variação da temperatura (°C), precipitação (mm) e da humidade (%) no decorrer dos meses de amostragem

Relativamente aos resultados dos índices aplicados (Tabela 2), estes permitiram perceber de que forma a dominância e a diversidade das espécies ocorre ao longo do percurso.

Através do índice de Berger-Parker destacou-se as áreas 3 e 5 ($d=1$) com a dominância de uma só espécie e as áreas 1 e 6 ($d=0,221$; $d=0,204$) cujos resultados indicam uma maior diversidade de macrofungos micorrízicos. Estes resultados foram corroborados pelo índice de Simpson. O valor obtido nas áreas 3 e 5 ($C=0$) confirma a existência de uma só espécie. Esta análise também confirmou que a área 1 ($C=0,881$) e 6 ($C=0,862$) são as que retêm uma maior diversidade relativamente à riqueza de espécies seguidas pelas áreas 2 ($C=0,759$), 4 ($C=0,780$), 8 ($C=0,792$) e 13 ($C=0,797$). Se tivermos em consideração todo o percurso, apesar de haver dominância em algumas áreas, de forma global, este apresenta uma dominância reduzida e uma elevada diversidade ($d=0,192$; $C=0,908$)

Relativamente aos índices de Shannon-Wiener e de Equabilidade de Pielou, nenhuma área se destacou, possivelmente devido aos elevados valores de algumas espécies em comparação aos reduzidos valores de outras, ou seja, devido à dominância de algumas espécies sobre as outras. Em contrapartida, estes índices demonstram que o percurso como um todo, as espécies estão distribuídas de uma forma equilibrada e que existe diversidade ($H'=2,842$; $J=0,781$).

Tabela 2- Resultados dos índices de Berger-Parker, Simpson, Shannon e Pielou

	Berger-Parker	Simpson	Shannon	Pielou
Área 1	0.221	0.881	0.332	0.091
Área 2	0.362	0.759	0.253	0.070
Área 3	1	0	0.100	0.027
Área 4	0.425	0.780	0.232	0.064
Área 5	1	0	0.027	0.007
Área 6	0.204	0.862	0.259	0.071
Área 7	0.500	0.6250	0.047	0.013
Área 8	0.352	0.792	0.272	0.075
Área 9	0.667	0.4440	0.055	0.015
Área 10	0.500	0.6250	0.047	0.013
Área 11	0.621	0.583	0.183	0.050
Área 12	0.647	0.519	0.135	0.037
Área 13	0.372	0.797	0.241	0.066
Área 14	0.833	0.2780	0.064	0.017
Total	0.192	0.908	2.842	0.781

Relativamente à correlação de Spearman, para a abundância total de macrofungos, verificou-se que existe uma relação estatisticamente significativa e positiva com a variável correspondente à percentagem de cobertura vegetal de *Quercus spp.* ($r_s=0,712$; $p=0,004$). Em contrapartida, não existem evidências de relação clara significativa com a variável de percentagem de cobertura de outras espécies arbóreas (por exemplo, oliveira, eucalipto e freixo) ($r_s=0,259$; $p=0,371$). Respetivamente à variável de presença de zonas húmidas ($r_s=0,497$; $p=0,07$) verificou-se a existência de uma correlação positiva, ainda que não seja estatisticamente significativa. Para a variável correspondente à presença de gado ($r_s=-0,584$; $p=0,028$) identificou-se uma correlação negativa e estatisticamente significativa. Para as condições atmosféricas, relativamente às três temperaturas (temperatura mínima ($r_s=-0,393$; $p=0,096$), temperatura máxima ($r_s=-0,309$; $p=0,199$) e temperatura média ($r_s=-0,450$; $p=0,053$)), identificou-se relações negativas e estatisticamente não significativas. No caso da precipitação não foi possível identificar uma relação clara entre as variáveis

($r_s=0,064$; $p=0,796$), sendo que os resultados não são estatisticamente significativos. Por fim, para a variável humidade ($r_s=0,596$; $p=0,007$) verificou-se uma correlação estatisticamente significativa com uma tendência positiva entre as variáveis.

Ao recorrer à correlação de Spearman, para a abundância de espécies de macrofungos ectomicorrízicos, verificou-se que existe uma relação estatisticamente significativa e positiva com a percentagem de cobertura vegetal de *Quercus spp.* ($r_s=0,773$; $p=0,001$). A correlação com a percentagem de cobertura de outras espécies arbóreas ($r_s=-0,140$; $p=0,633$) revelou que não existe uma relação clara entre correlação entre as variáveis. Respetivamente à variável de presença de zonas húmidas ($r_s=0,130$; $p=0,659$), a correlação de Spearman indica que apesar de não haver uma relação estatisticamente significativa, a tendência demonstra algum aumento nestas zonas. Em zonas em que o gado está presente ($r_s=-0,454$; $p=0,103$), observou-se uma tendência na diminuição da abundância, no entanto, esta relação não é estatisticamente significativa.

Para as condições atmosféricas, respetivamente à temperatura, nas correlações entre as três temperaturas (temperatura mínima ($r_s=-0,541$; $p=0,017$), temperatura máxima ($r_s=-0,467$; $p=0,044$) e temperatura média ($r_s=-0,587$; $p=0,008$)) e a abundância, identificou-se relações negativas e estatisticamente significativas. Com a correlação com a variável precipitação não foi possível identificar uma relação clara ou significativa ($r_s=0,009$; $p=0,971$), mas, ao efetuar uma correlação com a humidade ($r_s=0,644$; $p=0,544$), verificou-se uma tendência positiva entre as variáveis, ainda que esta não seja estatisticamente significativa.

Considerando uma correlação de Spearman entre a riqueza total e as variáveis em estudo, foi possível obter os resultados de seguida apresentados. Ao fazer a correlação com a percentagem de cobertura vegetal de *Quercus spp.* ($r_s=0,773$; $p=0,001$), verificou-se uma relação positiva e estatisticamente significativa. O mesmo não se constatou com a percentagem de cobertura de outras espécies arbóreas (por exemplo, oliveira, eucalipto e freixo) ($r_s=0,060$; $p=0,84$) cujos resultados revelaram a inexistência de uma relação clara significativa entre as variáveis. Quanto à presença de zonas húmidas ($r_s=0,545$; $p=0,044$) observou-se uma relação positiva e estatisticamente significativa. O mesmo não se verificou com a variável correspondente à presença de gado ($r_s=-0,632$; $p=0,015$), ainda que também estatisticamente significativos, os resultados demonstraram uma correlação negativa entre as variáveis.

Relativamente às variáveis das condições atmosféricas, tanto a temperatura mínima ($r_s=-0,279$; $p=0,247$) como a temperatura média ($r_s=-0,347$; $p=0,146$) e a temperatura máxima ($r_s=-0,348$; $p=0,145$) apresentam correlações fracas e

estatisticamente não significativas. Para a variável precipitação ($r_s=-0,064$; $p=0,796$) não se identificou a existência de uma relação significativa entre as variáveis, ao contrário da variável humidade ($r_s=0,516$; $p=0,024$) que mostrou uma relação positiva e estatisticamente significativa.

Os resultados obtidos recorrendo aos testes efetuados com os dados da riqueza de espécies macro fúngicas micorrízicas demonstraram uma relação estatisticamente significativa e positiva com a percentagem de cobertura vegetal de *Quercus spp.* ($r_s=0,923$; $p=0,000002$). Com a variável que considera a percentagem de cobertura de outras espécies arbóreas ($r_s=-0,005$; $p=0,986$), constatou-se que não existe uma relação clara entre as variáveis. Em relação à presença de zonas húmidas ($r_s=0,326$; $p=0,256$), apesar de não haver uma relação estatisticamente significativa, a tendência demonstra algum aumento nestas zonas. Em contrapartida, ao considerar a presença de gado ($r_s=-0,695$; $p=0,006$) notou-se uma correlação negativa e estatisticamente significativa.

Nas correlações relativas à riqueza de espécies micorrízicas e a temperatura, observou-se que tanto a temperatura mínima ($r_s=-0,612$; $p=0,005$) como a temperatura média ($r_s=-0,636$; $p=0,003$) apresentaram relações negativas e significativas, sendo a temperatura máxima ($r_s=-0,438$; $p=0,061$) a única a apresentar uma relação negativa e estatisticamente não significativa. O oposto foi constatado com a variável humidade ($r_s=0,544$; $p=0,016$), em que a correlação mostrou uma relação positiva e estatisticamente significativa. A correlação com a precipitação ($r_s=-0,116$; $p=0,003$) demonstrou a existência de uma relação muito fraca, mas significativa entre as variáveis.

4. Discussão de resultados

A área em estudo está sobre a influência do clima Mediterrâneo caracterizado pelos verões quentes e secos e pelos invernos amenos e chuvosos. As épocas de excelência para a frutificação de macrofungos são as estações do outono e da primavera. Isto foi mais uma vez comprovado durante este estudo. Em comparação com as amostragens dos meses de inverno (janeiro e fevereiro), os meses mais ricos (novembro) e abundantes (dezembro) em macrofungos pertencem ao outono, num período bastante húmido e razoavelmente ameno.

Após todos os testes e índices calculados verificou-se que, apesar de algumas áreas serem dominadas por uma espécie, de maneira geral, as áreas são diversificadas e equilibradas. A área 1 é a que apresenta maior riqueza e abundância de espécies, no entanto, o facto de algumas espécies terem uma abundância bastante superior a outras leva a que esta área não seja considerada a mais diversa e equilibrada. Esta discrepância de valores também influencia os resultados de outras áreas como, por exemplo, da área 4,

8 e 13. Ainda assim, ao considerar o percurso como um todo, este é bastante diverso e rico em espécies, com uma distribuição equilibrada das mesmas.

Segundo a bibliografia especializada, o surgimento de macrofungos micorrízicos está fortemente associado à presença de *Quercus spp.*, conhecidas por estabelecerem relações ectomicorrízicas com uma grande diversidade de macrofungos (Garcia-Guzmán et al., 2017; Lofgren et al., 2017; Heděc et al., 2020). Este padrão foi igualmente reportado por vários autores, incluindo Frutuoso (2007), Andrade (2017) e Pereira (2015), que destacam os montados de sobro e azinho como ecossistemas privilegiados para a frutificação de espécies micorrízicas, dada a forte presença de espécies do género *Quercus*.

No presente estudo, esta tendência foi confirmada: tanto a abundância como a riqueza específica de macrofungos aumentaram significativamente em áreas com maior percentagem de cobertura por *Quercus spp.*, enquanto zonas dominadas por outras espécies vegetais, como oliveira ou eucalipto, não apresentaram a mesma diversidade. Este resultado vai ao encontro do observado por Marques (2012), onde a ausência de espécies hospedeiras resultou na diminuição de micorrízicos. Estas espécies não só estabelecem menos ligações micorrízicas, como podem modificar negativamente o microclima local ou a composição do solo.

Embora fatores edáficos e climáticos possam igualmente desempenhar um papel importante, os resultados obtidos reforçam a ideia de que a presença de *Quercus spp.* constitui o principal fator explicativo da elevada diversidade micorrízica observada ao longo do percurso, confirmando as conclusões de estudos prévios realizados em diferentes regiões do país.

Para além das espécies vegetais hospedeiras, existem outros fatores que influenciam o aparecimento de macrofungos micorrízicos, como a presença de zonas húmidas. No presente estudo, embora sem significância estatística, observou-se uma tendência para maior abundância e riqueza micorrízica em áreas húmidas, o que está em linha com os resultados obtidos por Frutuoso (2007), Marques (2012) e Parreira (2020).

Estas zonas tendem a reter a humidade e a apresentar microclimas mais amenos, com menor amplitude térmica (Greiser et al., 2024), o que cria condições favoráveis ao desenvolvimento dos carpóforos, conforme descrito também por Talley et al. (2002). No entanto, e tal como apontado por Hu et al. (2013), a saturação hídrica excessiva pode levar à redução da disponibilidade de oxigénio no solo, o que compromete a frutificação de espécies micorrízicas — o que poderá justificar a ausência de correlações estatisticamente significativas.

Assim, os resultados sugerem que zonas húmidas podem representar habitats potencialmente ricos, mas a sua capacidade de suporte micorrízico dependerá de condições ecológicas adequadas, como foi também evidenciado por Parreira (2020).

Relativamente à presença de gado, o constante pisoteio e, consequentemente, compactação dos solos poderá ser a resposta para os resultados negativos. Zonas de pastagem de gado tendem a ser associadas a distúrbios na estrutura do solo, daí a redução de abundância e riqueza de espécies macrofúngicas nestes locais (Mligo, 2015). Resultados semelhantes foram observados por Pereira (2015), que também identificara impactos negativos do pastoreio na diversidade micológica. Além disso, as zonas de gado identificadas neste percurso correspondiam a áreas com menor cobertura vegetal, o que também contribui para estes resultados, tal como referido por Frutuoso (2007) no contexto de montados com cobertura reduzida.

As condições climáticas são um fator crucial para a frutificação dos macrofungos. Estes seres, como referido, necessitam de condições específicas e favoráveis, não só a nível de espécies hospedeiras e de uso do solo, mas também a nível de temperatura, precipitação e humidade. Ao ter em consideração os dados referentes à precipitação, temperatura e humidade ao longo do tempo de amostragem e a distribuição da abundância e riqueza ao longo do tempo (Anexo IV), foi possível observar de que maneira estes fatores influenciam os macrofungos.

Os resultados obtidos indicam que temperaturas altas influenciam negativamente os seres em estudo, comprovando a sua preferência por temperaturas amenas, tal como também descrito por Frutuoso (2007) e Parreira (2020). Temperaturas muito elevadas ou muito reduzidas poderão colocar em causa a viabilidade do cogumelo. Tal como foi referido anteriormente, não foi estabelecida uma relação clara ou significativa com a precipitação. A precipitação contribui para o aumento da humidade do solo, o que favorece o desenvolvimento dos macrofungos ao criar condições adequadas para a frutificação. No entanto, níveis excessivos de precipitação podem ser prejudiciais ao desenvolvimento dos carpóforos, pois a saturação do solo pode limitar o oxigénio disponível e promover a decomposição prematura dos corpos frutíferos (Straatsma et al., 2001), o que também foi sugerido por Pereira (2015). Por fim, a humidade do ar demonstrou impactar positivamente os seres em estudo. Isto demonstra que a humidade influencia os macrofungos e o seu aparecimento na medida em que auxilia na manutenção da humidade dos solos ao reduzir a taxa de evaporação (Campbell & Norma, 1998), sendo este efeito igualmente observado por Marques (2012). Todavia, notou-se uma relação estatisticamente não significativa com os macrofungos micorrízicos, que poderá ser justificada pela necessidade destes seres por

outras condições, não só climáticas, mas também ambientais, nomeadamente, alterações no uso dos solos ou perturbações nas espécies hospedeiras.

Tendo em conta o percurso como um todo, este pode ser considerado como altamente diverso em termos de espécies micorrízicas e não só, sendo que a distribuição das espécies é equilibrada ao longo do percurso. Apenas em duas zonas se notou a dominância de uma espécie. Contudo, a dominância encontrada noutras zonas está relacionada com os elevados números de exemplares colhidos de determinados géneros como é o caso do *Scleroderma spp.* e *Astraeus spp.*. A ecologia destes géneros contém a resposta.

Scleroderma spp. pode ser encontrado a nível global, frutificando regularmente ao longo do ano, formam ectomicorrizas com múltiplas espécies arbóreas, são ecologicamente generalistas e condições climáticas adversas (Mrak *et al.*, 2017).

Astraeus spp. é bastante comum em zonas temperadas e cresce associado a várias espécies de árvores. Tem uma grande capacidade adaptativa (pode ser encontrado em áreas cosmopolitas) e pode surgir em diversos substratos (solos pobres em nutrientes, ácidos, argilosos, arenosos, entre outros). Os corpos frutíferos secos podem ainda resistir e durar vários anos (Phosri *et al.*, 2013).

5. Considerações finais

Ao longo do percurso é possível encontrar zonas de montado de sobro. Muitos seres estão dependentes destes ecossistemas e dos seus produtos e, como tal, é importante reforçar a importância da sua proteção. Estes locais são fundamentais para os macrofungos, pois albergam espécies hospedeiras, como o *Quercus suber*, com as quais muitos fungos estabelecem relações micorrizas. O facto de estes seres estarem distribuídos ao longo de todo o percurso evidencia o seu valor ecológico e sugere que a área pode constituir um importante reservatório de diversidade de macrofungos micorrízicos. A elevada variedade e dispersão destes organismos ao longo do percurso reforça o potencial do local como área de interesse micológico e ecológico.

Este estudo permitiu perceber e comprovar que *Quercus spp.* é extremamente importante para os ecossistemas direta e indiretamente, uma vez que, ao servirem de hospedeiras para espécies micorrízicas, contribuem para uma melhoria nos solos e para o bem-estar geral das espécies vegetais no local e, consequentemente, do ecossistema.

Da mesma maneira em que foi observado que a presença de gado afeta negativamente as comunidades de macrofungos, foi observado que uma maior retenção de humidade contribui para o crescimento destes seres.

Por fim, indo de encontro aos objetivos delineados, todos foram cumpridos. Como referido, *Quercus spp.* ao assumir o papel de hospedeira de espécies micorrízicas potência o aparecimento das mesmas, ao contrário, de outros géneros arbóreos. É nessas zonas em que é possível encontrar uma maior abundância e riqueza de macrofungos em geral, mas, especialmente, de micorrízicos. Como mencionado supra, zonas de pastoreio de gado, afetam negativamente o aparecimento de macrofungos. As zonas húmidas, quando em conjunto de espécies hospedeiras de macrofungos micorrízicos, mostram-se áreas bastante abundantes e diversas.

Como nota final, importa reforçar a importância da monitorização e proteção dos percursos pedestres, cada vez mais frequentados, de modo a garantir a salvaguarda da biodiversidade presente nestes locais. Destaca-se igualmente a relevância da conservação dos montados e das comunidades de macrofungos micorrízicos, organismos discretos, mas essenciais ao equilíbrio e funcionamento dos ecossistemas.

6. Referências Bibliográficas

Alaux, P-L., Zhang, Y., Gilbert, L., & Johnson, D. (2021). Can common mycorrhizal fungal networks be managed to enhance ecosystem functionality? *Plants, People, Planet*, 3 (5), 433-444. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10178>

Amazonas, M. (2003). *Biodiversidade de macrofungos e potencial de uso para o desenvolvimento sustentável*. [Palestra]. Semana do estudante universitário. Colombo: Embrapa florestas. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/308602>

Andrade, J.M.C. (2017). *Diversidade macrofúngica – um indicador de diferentes tipologias de gestão nas áreas do montado?* [Dissertação de mestrado, Universidade de Évora]. Repositório Universidade de Évora. <http://hdl.handle.net/10174/22006>

Aperlo, D., Schrohn, H., Fernández, N., & Mestre, M. (2023). Micorrizas y salicáceas: qué sabemos del período 2010-2020 y hacia dónde vamos. *Bosque*, 44 (1), 9-22. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002023000100009>

Bergero, R., Perotto, S., Girlanda, M., Vidano, G., & Luppi, A. (2000). Blackwell Science, Ltd Ericoid mycorrhizal fungi are common root associates of a Mediterranean ectomycorrhizal plant (*Quercus ilex*). *Molecular Ecology*, 9 (10), 1639-1649. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.2000.01059.x>

Bilou, F. (2009). *A (re)fundação do Aqueduto da Água da Prata, em Évora 1533-37: Novos dados arqueológicos* [Dissertação de mestrado, Universidade de Évora]. Repositório Universidade de Évora. <http://hdl.handle.net/10174/18967>

Câmara Municipal Évora. (2023, julho 21). *Aqueduto da Água da Prata*. <https://www.cm-evora.pt/locais/aqueduto-da-agua-da-prata/>

Campbell, G. S., & Norman, J. M. (1998). *An introduction to environmental biophysics*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1626-1>

Cavalier-Smith, T. (2001). *What are fungi?* In D. McLaughlin, E. McLaughlin, & P. Lemke (Eds.), *The Mycota* (pp. 3-37). Springer.

Cheek, M., Lughadha, E., Kirk, P., Lindon, H., Carretero, J., Looney, B., Douglas, B., Haelewaters, D., Gaya, E., Llewellyn, T., Ainsworth, A., Gafforov, Y., Hyde, K., Crous, P., Hughes, M., Walker, B., Forzza, R., Wong, K., & Niskanen, T. (2020). New scientific discoveries: Plants and fungi. *Plants, People, Planet*, 2 (5), 371-388. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10148>

Chen, M., Arato, M., Borghi, L., Nouri, E., & Reinhardt, D. (2018). Beneficial Services of Arbuscular Mycorrhizal Fungi– From Ecology to Application. *Frontiers Plant Science*, 9 (1270). <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01270>

Chethana, K., Manawasinghe, I., Hurdeal, V., Bhunjun, C., Appadoo, M., Gentekaki, E., Raspé, O., Promputtha, I., & Hyde, K. (2021). What are fungal species and how to delineate them? *Fungal Diversity*, 109, 1-25. <https://doi.org/10.1007/s13225-021-00483-9>

Claro, S. (2019). *Aquae Ducto: proposta de percurso para a Água de Prata* [Dissertação de mestrado, Universidade de Évora]. Repositório Universidade de Évora. <http://hdl.handle.net/10174/25539>

Costa, F., Paleari, L., & Eiterer, M. (2011). *Classificação biológica: desafios na história da biologia*. In L. Paleari, R. Campos, H. Otsuka, & M. Carvalho (Eds.), *Experimentando ciência: Teoria e prática para o ensino da biologia* (pp. 89-110). Editora unesp.

Deacon, J.W. (2006). *Fungal Biology*. Blackwell Publishing. <https://yeastwonderfulworld.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/10/fungal-biology.pdf>

Frutuoso, A. L. M. (2007). *Diversidade de macrofungos em sobreiral serrano do sul de Portugal: sua relação com a gestão florestal* [Dissertação de mestrado, Universidade do Algarve]. Repositório Científico do Instituto Politécnico de Beja. <http://hdl.handle.net/10400.26/35045>

- Gama, A. (2021). *Cogumelos – Importância ecológica*. Quercus. <https://quercus.pt/2021/03/cogumelos-importancia-ecologica/>
- García-Guzmán, O. M., Garibay-Orijel, R., Hernández, E., Arellano-Torres, E., & Oyama, K. (2017). Worldwide meta-analysis of *Quercus* forests ectomycorrhizal fungal diversity reveals southwestern Mexico as a hotspot. *Mycorrhiza*, 27(8), 811–822. <https://doi.org/10.1007/s00572-017-0793-9>
- Greiser, C., Hederová, L., Vico, G., Wild, J., Macek, M., & Kopecký, M. (2024). Higher soil moisture increases microclimate temperature buffering in temperate broadleaf forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 345, 109828. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109828>
- IUCN. (2024). <https://www.iucnredlist.org/search?query=fungi&searchType=species>
- Hedénec, P., Nilsson, L. O., Zheng, H., Gundersen, P., Schmidt, I. K., Rousk, J., & Vesterdal, L. (2020). Mycorrhizal association of common European tree species shapes biomass and metabolic activity of bacterial and fungal communities in soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 149 (107933). <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107933>
- Heijden, M., & Horton, T. (2009). Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. *Journal of Ecology*, 97 (6), 1139–1150. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01570.x>
- Hu, J-J., Zhao, G-P., Tuo, Y-L., Qi, Z-X., Yue, L., Zhang, B., & Li, Y. (2022). Ecological Factors Influencing the Occurrence of Macrofungi from Eastern Mountainous Areas to the Central Plains of Jilin Province, China. *Journal of Fungi*, 8 (8), 871. <https://doi.org/10.3390/jof8080871>
- Hu, Y., Rillig, M. C., Xiang, D., Hao, Z., & Chen, B. (2013). Changes of AM fungal abundance along environmental gradients in the arid and semi-arid grasslands of Northern China. *PLoS One*, 8 (2), e57593. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057593>
- LaMontagne, J., Redmond, M., Wion, A., & Greene, D. (2021). An assessment of temporal variability in mast seeding of North American Pinaceae. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 376 (1839). <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0373>
- Lofgren, L. A., Nguyen, N. H., & Kennedy, P. G. (2018). Ectomycorrhizal host specificity in a changing world: Can legacy effects explain anomalous current associations? *New Phytologist*, 220 (4), 1273–1284. <https://doi.org/10.1111/nph.15008>

Marques, M. B. S. (2012). *Diversidade e ecologia dos macrofungos do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra* [Dissertação de mestrado, Universidade do Porto]. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Martin, F. (2017). *Molecular Mycorrhizal Symbiosis*. Wiley Blackwell. <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-8306032-c9c26e43aa.pdf>

Mligo, C. (2015). The impact of livestock grazing on soil characteristics in Mount Kilimanjaro, Tanzania. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 3 (9), 24-37. <http://dx.doi.org/10.4236/gep.2015.39004>

Moreira, C. (2014). Classificação de Whittaker. *Ciência Elementar*, 2 (4). <http://doi.org/10.24927/rce2014.250>

Mrak, T., Kühdorf, K., Grebenc, T., Štraus, I., Münzenberger, B., & Kraigher, H. (2017). *Scleroderma areolatum* ectomycorrhiza on *Fagus sylvatica* L. *Mycorrhiza*, 27 (3), 283–293. <https://doi.org/10.1007/s00572-016-0748-6>

Naranjo-Ortiz, M., & Gabaldón, T. (2019). Fungal evolution: diversity, taxonomy and Phylogeny of the Fungi. *Biological Reviews*, 94 (6), 2101-2137. <https://doi.org/10.1111/brv.12550>

Pacioni, G. (1993). *The Macdonald Encyclopedia of Mushrooms and Toadstools*. Little, Brown Book Group Limited

Parreira, C.I.V. (2020). *Cogumelos na Ecopista de Évora: diversidade de macrofungos do solo* [Dissertação de mestrado, Universidade de Évora]. Repositório Universidade de Évora. <http://hdl.handle.net/10174/27913>

Pereira, J. M. (2015). *Comunidades de macrofungos em bosques de Quercus faginea subsp. broteroi e de Quercus rotundifolia no maciço calcário de Sicó-Alvaiázere* [Dissertação de mestrado, Universidade de Coimbra].

Phorsi, C., Martín, M., & Watling, R. (2013). *Astraeus*: hidden dimensions. *IMA Fungus*, 4 (2), 347-356. <https://doi.org/10.5598/imafungus.2013.04.02.13>

Richards, T., Leonard, G., & Wideman, J. (2017). What defines the “Kingdom” Fungi? *Microbioly Spectrum*, 5 (3). <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.funk-0044-2017>

Roberson, R.W. (2020). Subcellular structure and behaviour in fungal hyphae. *Journal of Microscopy*, 280 (2), 75-85. <https://doi.org/10.1111/jmi.12945>

Santos-Silva, C. & Louro, R. (2022). *O Micobiota do Parque Natural da Serra de S. Mamede/ Mycobiota of Natural Park of S. Mamede Mountain*. Coleção “Conhecer está na nossa Natureza” PNSSM- I. Universidade de Évora. <http://hdl.handle.net/10174/31928>

Simard, S., & Austin, M. (2010). *The role of mycorrhizas in forest soil stability with climate change*. In S. Simard, & M.Austin. (Eds.), *Climate Change and Variability*. Scyio editora.

Singh, R.P., Prasad, D., Gangwar, S.K., Patra, A., & Kundu, M.S. (2022). Mycorrhiza culture: An invaluable gift of nature for organic and natural farming. *Agriblossom*, 3 (4), 7-17.

https://www.researchgate.net/publication/367542831_Mycorrhiza_culture_An_invaluable_gift_of_nature_for_organic_and_natural_farming

Souza, V., Silva, R., Cardoso, G., & Barreto, A. (2006). Estudos sobre fungos micorrízicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10 (3), 612-618. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000300011>

Species Fungorum. (2025). <http://www.speciesfungorum.org>

Stephenson, S., & Gall, E. (2022). *The Kingdom Fungi*. In E. Gall, & N. Benkeblia (Eds.), *Mycoagroecology: Integrating Fungi into Agroecosystems*. CRC Press.

Straatsma, G., Ayer, F., & Egli, S. (2001). Species richness, abundance, and phenology of fungal fruit bodies over 21 years in a Swiss forest plot. *Mycological Research*, 105 (5), 515–523. <https://doi.org/10.1017/S0953756201003672>

Talley, S. M., Coley, P. D., & Kursar, T. A. (2002). The effects of weather on fungal abundance and richness among 25 communities in the Intermountain West. *BMC Ecology*, 2 (7). <https://doi.org/10.1186/1472-6785-2-7>

Tang, X., Mi, F., Zhang, Y., He, X., Cao, Y., Wang, P., Liu, C., Yang, D., Dong, J., Zhang, K., & Xu, J. (2015). Diversity, population genetics, and evolution of macrofungi associated with animals. *Mycology*, 6 (2), 94-109. <http://dx.doi.org/10.1080/21501203.2015.1043968>

Tedersoo, L., Sánchez-Ramírez, S., Kõljalg, U., Bahram, M., Döring, M., Schigel, D., May, T., Ryberg, M., & Abarenkov, K. (2018). High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal Diversity*, 9 (1), 135-159. <https://doi.org/10.1007/s13225-018-0401-0>

Whittaker, R.H. (1969). New Concepts of Kingdoms of Organisms: Evolutionary relations are better represented by new classifications than by the traditional two kingdoms. *Science*, 163 (3863), 150-160. <https://doi.org/10.1126/science.163.3863.150>

Wu, B-W. Gao, C., Chen, L., Buscot, F., Goldmann, K., Purahong, W., Ji, N-N., Wang, Y-L., Lü, P-P., Li, X-C., & Guo, L-D. (2018). Host Phylogeny Is a Major Determinant of Fagaceae-Associated Ectomycorrhizal Fungal Community Assembly at a Regional Scale. *Frontiers in Microbiology*, 9 (2409). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02409>

7. Anexos

Anexo I - Dados das áreas (A - zona húmida; CobQ - cobertura de *Quercus*; CobO - cobertura de outros géneros G - presença de gado; MA - abundância de micorrízicos; MR - riqueza de micorrízicos; ABT - abundância total; RT - riqueza total)

	A	G	CobQ	CobO	MA	MR	ABT	RT
Área 1	0	0	0.8	0	86	19	214	28
Área 2	0	0	0.05	0	47	6	105	15
Área 3	0	1	0.01	0	11	1	64	4
Área 4	1	0	0.7	0	40	11	202	29
Área 5	0	1	0.01	0	2	1	48	4
Área 6	0	0	0.5	0.3	49	10	232	22
Área 7	1	0	0.1	0.2	4	3	146	15
Área 8	1	0	0.2	0.05	54	10	371	31
Área 9	0	0	0	0.2	3	2	117	7
Área 10	0	0	0.04	0.06	4	3	6	4
Área 11	0	0	0.45	0	29	6	138	13
Área 12	0	0	0.1	0	17	4	147	22
Área 13	0	0	0.4	0	43	9	80	15
Área 14	0	1	0.01	0	6	2	48	5

Anexo II - Distribuição dos 395 exemplares pelas 38 espécies e pelas 14 áreas de amostragem

Espécies	área 1	área 2	área 3	área 4	área 5	área 6	área 7	área 8	área 9	área 10	área 11	área 12	área 13	área 14	Total
<i>Astraeus hygrometricus</i> (Pers.) Morgan 1889	19	12	11	0	0	5	0	0	0	0	0	4	6	5	62
<i>Amanita magnivolva</i> Aalto 1974	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3	0	1	0	8
<i>Amanita fulvovides</i> Neville & Poumarat	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Amanita rubescens</i> Pers	16	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
<i>Amanita phalloides</i> (Vaill. ex Fr.) Link	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
<i>Amanita franchetti</i> (Boud.) Fayod 1889	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Amanita pantherina</i> (DC.) Krombh	7	8	0	2	0	6	0	0	0	0	0	0	2	0	25
<i>Boletus aereus</i> Bull. 1789	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Clavulina coralloides</i> (L.) J. Schröt	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Cortinarius hemitrichus</i> (Pers.) Fr.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	4
<i>Cortinarius trivialis</i> J.E. Lange 1940	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>Craterellus undulatus</i> (Pers.) E. Campo & Papetti	0	0	0	0	0	5	0	0	2	1	0	0	0	0	8
<i>Helvella acetabulum</i> (L.) Quéf. 1874	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Inocybe praetervisa</i> Quéf.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	16
<i>Lactarius atlanticus</i> Bon	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Lactarius lacunarum</i> Romagn. ex J.E. Lange 1940	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Lactarius zugazae</i> G. Moreno, Montoya, Bandala, & Heykoop 2001	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>Leccinellum lepidum</i> (H. Bouchet ex Essette) Bresinsky & Manfr. Binder	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Paragalactinia infusata</i> (Quéf.) Van Vooren	0	0	0	0	0	0	1	8	0	0	0	0	0	0	9
<i>Peziza saccardoana</i> Cooke 1877	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Phaeoclavulina ochracea</i> (Bres.) Giachini 2011	0	0	0	17	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	36
<i>Russula graveolens</i> Romell	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Russula melitodes</i> Romagn	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Russula parodora</i> Sarnari	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
<i>Russula ionochlora</i> Romagn	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
<i>Russula praetervisa</i> Sarnari 1998	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6
<i>Russula pseudo-olivascens</i> Kärcher	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Russula amoenolens</i> Romagn. 1952	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4
<i>Russula rubella</i> A. Blytt 1905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
<i>Russula maculata</i> Quéf. 1878	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Russula</i> sp.	7	4	0	3	2	9	0	2	0	0	3	0	4	0	34
<i>Scleroderma cepa</i> Pers.	0	0	0	0	0	5	0	0	0	2	0	0	0	0	7
<i>Scleroderma verrucosum</i> (Bull.) Pers. 1801	10	2	0	4	0	10	1	12	1	0	18	11	6	1	76
<i>Suillellus queletii</i> (Schulzer) Vizzini, Simonini & Gelardi 2014	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	7
<i>Tricholoma sulphurellum</i> Rick	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Xerocomellus chrysenteron</i> (Bull.) Šutara	0	17	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	21
<i>Xerocomus subtomentosus</i> (L.) Quéf. 1887	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	3
<i>Xerocomus</i> sp.	3	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	12

Anexo III - Áreas de amostragem do percurso da Água de Prata



Anexo IV – Dados das condições climáticas cinco semanas antes e durante o período de amostragem (MA – abundância de micorrízicos; MR – riqueza de micorrízicos; ABT – abundância total; RT – riqueza total; P-precipitação (mm); H-humidade (%); Tmd-temperatura média (°C); Tmi – temperatura mínima (°C); Tma – temperatura máxima (°C))

MA	MR	ABT	RT	P	Tmd	Tmi	Tma	H
,00	,00	,00	,00	1,78	19,1	10,5	34,4	0,69
,00	,00	,00	,00	,00	23,9	11,9	38,5	0,54
,00	,00	,00	,00	,00	23,9	12,1	37,5	0,54
,00	,00	,00	,00	1,78	21,3	11,1	36,9	0,62
,00	,00	,00	,00	90,93	16,6	8,2	26,1	0,88
27	1	275	19	61,97	15,40	6,80	22,50	0,92
1	1	277	18	17,53	14,00	8,70	20,80	0,88
3	2	156	15	1,27	13,20	2,30	21,60	0,87
53	17	288	35	,00	14,80	7,20	25,80	0,9
53	16	181	28	,00	9,30	-,40	22,00	0,83
42	12	56	20	43,19	11,50	,70	20,00	0,93
90	10	291	25	15,24	11,60	4,70	18,90	0,94
68	12	223	26	9,30	9,30	-,20	19,20	0,88
12	5	26	10	,00	7,00	-2,70	20,30	0,85
13	3	50	11	14,48	9,40	-1,90	18,00	0,91
27	5	58	10	16,77	8,70	-,70	17,30	0,93
6	3	37	5	82,81	12,00	-,40	19,20	0,92
0	0	0	0	33,52	11,70	3,90	21,30	0,9
0	0	0	0	10,67	9,70	2,30	17,30	0,81