Consórcio de BioEducação

Universidade Lúrio, Universidade Zambeze, Instituto Superior Politécnico de Manica, Parque Nacional da Gorongosa e Universidade de Lisboa

Diversidade e factores que influenciam a distribuição dos macrofungos em dois habitats húmidos no Parque Nacional da Gorongosa

Autora:

Amina Abudo Amade

Mestrado em Biologia de Conservação

Chitengo, Março de 2020

Consórcio de BioEducação

Universidade Lúrio, Universidade Zambeze, Instituto Superior Politécnico de Manica, Parque Nacional da Gorongosa e Universidade de Lisboa

Diversidade e factores que influenciam a distribuição dos macrofungos em dois habitats húmidos no Parque Nacional da Gorongosa

Amina Abudo Amade

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Biologia de Conservação como requisito para a obtenção do título de Mestre em Biologia da Conservação

Aprovada por:

_____(Supervisor)

_____ (Co-supervisor)

_____ (Coordenador do Consórcio)

Parque Nacional da Gorongosa, 27 março 2020

Declaração de Honra

Declaro, por minha honra, que o presente trabalho intitulado "Diversidade e factores que influenciam a distribuição dos macrofungos em dois habitats húmidos no Parque Nacional da Gorongosa" foi por mim elaborado, sob orientação da Professora Cristina Máguas e o micologista Jason Karakehian. Esta dissertação é resultado de uma investigação por mim realizada e não foi submetido para a obtenção de grau de Mestrado em outra instituição se não o indicado "Mestrado em Biologia de Conservação" pelo Consórcio de BioEducação: Universidade Lúrio, Universidade Zambeze, Instituto Superior Politécnico de Manica, Parque Nacional da Gorongosa e Universidade de Lisboa.

A Autora

Amina Abudo Amade.

(Amina Abudo Amade)

Chitengo, Março de 2020

Dedicatória

À ALLAH pela força e por ter me guiado nos momentos difíceis, assim como nos momentos de alegria durante o mestrado.

Aos meus pais (em memória), pela inspiração do amor à natureza.

À minha prima Josefa Ferreira pelo incentivo à carreira de investigação.

Agradecimentos

A dissertação de mestrado constituí o destino de um percurso que lentamente foi traçado ao longo de dois anos. Como qualquer percurso, fomos submetidos a momentos de pressão, dificuldades, incertezas, fracassos e sucessos. Porém, durante o percurso ALLAH permitiu-me que encontrasse várias pessoas que se tornaram indispensáveis na superação dos desafios do quotidiano de qualquer investigador.

O meu percurso foi possível com o apoio de várias pessoas, a quem agradeço.

À ALLAH por estar sempre presente em minha vida me dando saúde, bem como a oportunidade de fazer parte do Programa de Mestrado.

Aos meus orientadores Professora Cristina Máguas e Jason Karakehian MSc., por terem aceitado o compromisso de orientar a elaboração da dissertação e identificação dos macrofungos.

À minha família: Fátima Abudo (Tia), Augusto Atumane (Tio), David Muianga (Tio), Abdala Amade (Irmão), Célio Fulane (Irmão), Maria Miguel (Prima), Aida Ferreira (Prima) e Celeste de Fátima (Prima) pela compreensão, apoio e conselhos em todos os momentos.

Aos meus amigos Francisco Madeira e Armando Sixpence pelo encorajamento e apoio incondicional em momentos difíceis.

Quero endereçar os meus sinceros agradecimentos ao Parque Nacional da Gorongosa, ao Departamento dos Serviços Científicos em particular, pelo suporte e contribuição na realização do trabalho.

Agradeço aos colegas do mestrado, Amemarlita, António, Lorena, Camilo, Gold, Raimundo, Clotilde, Márcio e Victor pelos momentos compartilhados durante os dois anos.

Quero endereçar o meu agradecimento a Adija, que mais do que colega do mestrado torno-se uma irmã.

Quero endereçar o meu especial agradecimento ao Semo pela parceria, carinho, amizade, companheirismo e particularmente pela disponibilidade durante o curso e realização deste trabalho.

Aos docentes do curso de Mestrado pela aprendizagem, encorajamento e disposição imediata em esclarecer dúvidas á qualquer momento.

Ao Sr. Quentin, Emília, Sionel, Bengala e toda a equipe do Projecto café da Serra da Gorongosa pelo apoio durante a realização do trabalho.

À Coordenação do Programa de Mestrado em especial a Professora Tara Massad e Engª. Berta Guambe MSc, por me terem apoiado sempre que possível.

Aos estagiários Pedro e Lucas, assim como aos técnicos do Laboratório de Biodiversidade Edward O. Wilson: Margarida, Norina, Ana Gledis e Tongai pelo auxílio na realização deste trabalho.

Aos fiscais, pela garantia da segurança no campo durante a realização desta pesquisa.

E por fim, endereço os meus mais profundos agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram directa ou indirectamente para a realização desta pesquisa, na certeza de que incentivaram o meu crescimento pessoal e profissional.

Epígrafe

"Em uma caminhada, o sucesso não está apenas na conquista, tornando-se importante o aprendizado adquirido ao longo do percurso".

Mahatma Gandhi

Resumo

Macrofungos podem ser considerados engenheiros químicos dos ecossistemas já que influenciam vários processos chaves como a decomposição de matéria orgânica e a reciclagem de nutrientes. Algumas espécies estabelecem interações de parasitismo e simbioses com plantas e animais. Com uma elevada capacidade adaptativa, os macrofungos são muito diversificados e colonizam vários habitats. Neste trabalho estudamos a diversidade e os factores que influenciam a distribuição dos macrofungos em dois habitats húmidos do Parque Nacional da Gorongosa. O foco da pesquisa foi avaliar a diversidade de macrofungos em quatro épocas do ano. Trinta parcelas de 5 x 50 m foram instaladas ao longo das margens de quatro rios permanentes e mensalmente foram colectados dados de macrofungos e variáveis ambientais. De entre as variáveis ambientais, foram selecionadas 11, as quais podem desempenhar um papel importante na distribuição de macrofungos. O estudo resultou em 300 morfo-espécies. Em todas as épocas de colecta foram encontradas muitas espécies do grupo funcional saprófito em vários substratos. Os grupos funcionais micorrízicos e parasitas apresentaram menos espécies. Como esperado, a riqueza morfo-específica atingiu o máximo nos períodos de chuvas e espécies da ordem Agaricales foram dominadas por *Marasmius haematocephalus* (Mont.) Fr. (1838), *Marasmius rotula* (Scorp.) Fr. 1837, *Tetrapyrgos nigripes* (Fr.) E. Horak (1987) e *Schizophyllum commune* Fr. (1821). A precipitação e a época de colecta foram os factores ambientais que influenciaram a distribuição dos macrofungos nos habitats da floresta de galeria e floresta tropical húmida. Os resultados irão melhorar a compreensão da diversidade e distribuição dos macrofungos no Parque Nacional da Gorongosa, permitindo a implementação de planos de maneio adaptativos que incluam estratégias de conservação de macrofungos e aplicação de macrofungos como indicadores de qualidade dos ecossistemas.

Palavras-chave: Conservação, ecossistema, época do ano, macrofungos, precipitação

Abstract

Macrofungi can be considered as chemical ecosystem engineers since their influence a plenty of key ecological processes, such as organic matter decomposition and nutrients recycling. Some macrofungi species establish parasitic and symbiotic interactions with plants and animals. Macrofungi have a highly adaptations capacity to colonize many habitats and represent a highly diverse group of organisms. In this research, we studied the diversity and factors influencing the distribution of macrofungi in two wet habitats of the Gorongosa National Park. The main objective of this study was to evaluate the diversity of macrofungi in four seasons of the year. Data was collected monthly in 30 plots of 5 x 50 m, installed along the four permanent riverbanks. In additional, were selected 11 environmental variables that might have an important role in macrofungi distribution. In this research, we collect 300 morph-species of macrofungi. In all season, saprophyte species were highly represented in the different substrates. However, mycorrhizal and parasite functional groups shown a few species. As expected, morph-specific wealth has reached its peak during the rainy season and the other Agaricales was dominated by the species *Marasmius haematocephalus*, *Marasmius rotula*, *Tetrapyrgos nigripes* and *Schizophyllum commune*. According to the findings of this study, precipitation and season variation were the most important factors influencing the macrofungi richness in wet habitats. This knowledge will improve the understanding of the diversity and distribution of macrofungi in the Gorongosa National Park, leading to the implementation of effective and adaptive management programmes which include the strategies and application of macrofungi and consider them as ecosystem quality indicators.

Keywords: Conservation, ecosystem, season, macrofungi, precipitation.

Índice

Declaração de Honra iii

Dedicatória iv

Agradecimentos v

Resumo viii

Lista de tabelas xiii

Lista de figuras xiii

Lista de abreviaturas xiv

Capítulo I 1

1. Introdução geral 1

1.1. Características gerais dos fungos 1

1.2. Fungos e sua importância ecológica 1

1.3. Diversidade, sistemática e taxonomia dos fungos 6

1.4. Principais grupos de fungos 7

1.4.1. Microfungos 7

1.4.2. Macrofungos 8

1.4.2.1. Caracterização do filo Ascomycota 8

1.4.2.2. Caracterização do filo Basidiomycota 10

1.5. Macrofungos em ecossistemas florestais 11

1.6. Estudos de diversidade de macrofungos 11

1.7. Estudos de diversidade de macrofungos nas regiões tropicais e em África 13

1.8. Estudos de diversidade de macrofungos em Moçambique 14

1.9. Macrofungos em áreas de conservação 14

1.10. Factores que influenciam a distribuição de macrofungos 15

Capítulo II 18

2.1. Introdução 18

2.2. Métodos 23

2.2.1. Descrição do sítio de estudo 23

2.2.1.1. Picada Dingue-Dingue 23

2.2.1.2. Serra da Gorongosa 24

2.3. Métodos de campo 25

2.3.1. Desenho amostral 25

2.3.1.1. Picada Dingue-Dingue 25

2.3.1.2. Serra da Gorongosa 25

2.3.2. Amostragem do material biológico 26

2.3.2.1. Colecta de macrofungos 26

2.3.2.2. Caracterização da comunidade vegetal e sua estrutura 27

2.3.2.3. Abertura do dossel 28

2.3.3. Métodos de laboratório 28

2.3.3.1. Fotografias e mapa de esporos 28

2.3.3.2. Secagem, conservação e identificação 29

2.4. Análise de dados 29

2.5. Resultados 31

2.6. Discussão 37

2.7. Conclusões e recomendações 47

Tabelas e gráficos 50

Referências bibliográficas 90

Lista de tabelas

Tabela 1. Morfo-espécies identificadas até ao nível do gênero e espécies na picada Dingue-Dingue 50

Tabela 2. Índices de diversidade de macrofungos em diferentes épocas de colecta na picada Dingue-Dingue 52

Tabela 3. Variáveis ambientais que não apresentaram correlação significativa com a riqueza e abundância de macrofungos na picada Dingue-Dingue 53

Tabela 4. Morfo-espécies identificadas até ao nível do gênero e espécies na Serra da Gorongosa 54

Tabela 5. Índices de diversidade de macrofungos em diferentes épocas de colecta na Serra da Gorongosa 56

Tabela 6. Variáveis ambientais que não apresentaram correlação significativa com a riqueza e abundância de macrofungos na Serra da Gorongosa 57

Lista de figuras

Figura 1. Relação filogenética e diversidade de espécies macrofungos 58

Figura 2. Percentagem de estudos e novas espécies de fungos descritos 59

Figura 3. Estimativa da diversidade de espécies existentes em Moçambique 60

Figura 4. Mapa de localização da área de estudo 61

Figura 5. Habitats da floresta de galeria na picada Dingue-Dingue 62

Figura 6. Habitats da floresta ribeirinha na Serra da Gorongosa 63

Figura 7. Representação de parcelas nos dois habitats 64

Figura 8. Curva de acumulação de espécies da picada Dingue-Dingue 65

Figura 9. Curva de acumulação de espécies da época chuvosa da picada Dingue-Dingue....66

Figura 10. Curva de acumulação de espécies da época seca chuvosa na picada Dingue-Dingue 67

Figura 11. Curva de acumulação de espécies da época seca fria na picada Dingue-Dingue..68

Figura 12. Curva de acumulação de espécies da época seca quente na picada Dingue-Dingue 69

Figura 13. Frequência dos grupos funcionais de macrofungos da picada Dingue-Dingue 70

Figura 14. Principais ordens de macrofungos encontradas na picada Dingue-Dingue.....71

Figura 15. Principais famílias de macrofungos encontradas na picada Dingue-Dingue 72

Figura 16. Número de espécies de macrofungos por metros quadrados na picada Dingue-Dingue.....73

Figura 17. Número de indivíduos de macrofungos por metros quadrados na picada Dingue-Dingue.....74

Figura 18. Riqueza de espécies de macrofungos em função da precipitação média mensal na picada Dingue-Dingue 75

Figura 19. Riqueza e abundância de espécies arbóreas encontradas nas florestas de galeria na picada Dingue-Dingue 76

Figura 20. Riqueza e abundância de espécies arbustivas encontradas nas florestas de galeria na picada Dingue-Dingue 77

Figura 21. Curva de acumulação de espécies colectadas em todas épocas de pesquisa na Serra da Gorongosa 78

Figura 22. Curva de acumulação de espécies colectadas durante a época chuvosa na Serra da Gorongosa.....79

Figura 23. Curva de acumulação de espécies colectadas durante a época seca chuvosa na Serra da Gorongosa 80

Figura 24. Curva de acumulação de espécies colectadas durante a época seca fria na Serra da Gorongosa 81

Figura 25. Curva de acumulação de espécies colectadas durante a época seca quente na Serra da Gorongosa 82

Figura 26. Frequência dos grupos funcionais de macrofungos na Serra da Gorongosa 83

Figura 27. Principais ordens de macrofungos encontradas nas quatro épocas de colecta na Serra da Gorongosa 84

Figura 28. Principais famílias de macrofungos encontradas nas quatro épocas de colecta na Serra da Gorongosa 85

Figura 29. Número de espécies de macrofungos por metros quadrados na Serra da Gorongosa 86

Figura 30. Número de indivíduos macrofungos por metros quadrados na Serra da Gorongosa 87

Figura 31. Riqueza e abundância de espécies arbóreas encontradas nas florestas ribeirinhas na Serra da Gorongosa 88

Figura 32. Riqueza e abundância de espécies arbustivas encontradas nas florestas ribeirinhas na Serra da Gorongosa 89

Lista de abreviatura

Anova	Análise de variância
DAP	Diâmetro altura do peito
EMC	Ectomicorrízas
Fig.	Figuras
F	Valor crítico
IUCN	União Internacional para Conservação da Natureza
GL	Graus de liberdade
Lmer	Modelo de regressão linear
km^2	Kilometros
mm	Milímetros
m	Metros
m^2	Metros quadrados
%	Percentagem
° C	Graus celsius
PNG	Parque Nacional da Gorongosa
P	Valor calculado
WWF	Fundo Mundial da Natureza

Capítulo I

1. Introdução geral

1.1. Características gerais dos fungos

Fungos são organismos eucariontes, unicelulares ou multicelulares, pois apresentam células bem estruturadas devido a presença do núcleo celular (Webster & Weber 2007; Richards et al. 2017; Willis 2018). Geralmente os fungos são confundidos com plantas, mas algumas características como a presença de quitina na parede celular torna-os mais próximos aos animais (Baldauf & Palmer 1993; Boa 2008; Torruella et al. 2015; Willis 2018). Morfologicamente os fungos são distintos e muitas espécies apresentam corpos frutificantes efemerais, pois duram pouco tempo após a frutificação (Gates et al. 2011; Andrew et al. 2013).

Com uma ampla distribuição geográfica, os fungos são tolerantes a diferentes condições ambientais, encontrando-se em ecossistemas terrestres e aquáticos (James et al. 2006; Webster & Weber 2007; Richards et al. 2017). Em ecossistemas terrestres os fungos são bem sucedidos por constituírem um dos primeiros grupos de organismos a colonizar os diferentes biomas terrestres (Richards et al. 2017; Naranjo-Ortiz & Gabaldón 2019), através da evolução de algumas características como a produção de esporos - mecanismo que permite a propagação dos fungos em ambientes secos, garantindo o seu sucesso adaptativo (James et al. 2006; Liu et al. 2006).

1.2. Fungos e sua importância ecológica

Do ponto de vista ecológico, os fungos são fundamentais em alguns processos ecossistémicos, ocupando diferentes posições nas cadeias tróficas (Steffan et al. 2015; Richards et al. 2017), desempenhando importantes funções na regulação das comunidades de plantas e de animais (Polis & Strong 1996), assim como nos fluxos energéticos dos ecossistemas (Angelini et al.

2016b). Deste modo, as interações entre os fungos e os diferentes organismos influenciam os processos de decomposição da matéria orgânica, sucessão de plantas e ciclo de nutrientes, garantindo a continuidade de diversos elementos químicos encontrados na natureza (Naranjo-Ortiz & Gabaldón 2019).

A decomposição é um processo bioquímico resultante da actividade dos microrganismos sobre a matéria orgânica disponível nos ecossistemas (Bradford et al. 2016), constituindo elementos fundamentais na manutenção e transferência de energia nas cadeias tróficas. Os fungos são os decompositores primários dos ecossistemas, uma eficiente função desempenhada pelos fungos saprófitos (Osono 2005; Osono & Takeda 2006), pois crescem em matéria orgânica como excrementos, órgãos de animais e de plantas mortas. O processo de decomposição pode ser dinâmico ou bastante lento, acompanhado pela sucessão dos fungos (Osono 2005; Rajala et al. 2012; Hiscox et al. 2015). A sucessão fúngica ocorre em etapas caracterizadas pela colonização da matéria orgânica fresca e intacta pelos fungos do filo Ascomycetes, sendo considerados fungos pioneiros na decomposição. Posteriormente, surgem os fungos tardios que colonizam a matéria orgânica bastante decomposta, constituídos maioritariamente pelos fungos do filo Basidiomycetes (Rajala et al. 2012; Hiscox et al. 2015).

No processo de decomposição da matéria orgânica ocorre a degradação da celulose, hemicelulose e lignina, estes que são os principais componentes das plantas vasculares (Osono 2007; Rajala et al. 2012; Krishna & Mohan 2017). A degradação destes componentes ocorre através da acção das enzimas digestivas produzidas pelos fungos (Baldrian & Valášková 2008; Kubartová et al. 2009), como as enzimas lignolíticas que são responsavéis pela degradação da lignina, componente mais resistente à degradação (Dashtban et al. 2010). Porém, vários factores ambientais como a temperatura, pH e humidade influenciam directa ou indirectamente no processo de degradação (Madadi & Abbas 2017), mas a eficiente capacidade enzimática

dos fungos resulta na degradação de 32.4 % de lignina (Knežević et al. 2013). Após o processo de decomposição muitos componentes da matéria orgânica como os minerais, nitrogénio, carbono e fósforo são acumulados e retidos nos solos, pois a sua incorporação influencia na estrutura dos solos e garante a reciclagem dos nutrientes absorvidos pelas plantas e animais durante o seu desenvolvimento (Beare et al. 1997; Drake et al. 2011; Krishna & Mohan 2017), aumentando assim a fertilidade dos solos.

Alguns fungos interagem com raízes de plantas resultando em micorrizas (Hodge 2001). Esta simbiose ocorre em mais de 90 % das espécies de plantas vasculares, tornando-se vital na sobrevivência de muitas plantas (Mueller et al. 2007). Dependendo do modo de colonização dos fungos micorrízicos nas raízes das plantas, podem ser classificados em dois principais grupos: ectomicorrízas e endomicorrízas. Os fungos ectomicorrízicos (ECM) são constituídos por fungos do filo Basidiomycota (Harkonen et al. 2015) e colonizam a região intercelular da epiderme radicular dos dois grupos de plantas superiores, divididas em gimnospérmicas e angimnospérmicas (Bonfante & Genre 2010; Hou et al. 2012; Varga et al. 2019). A expansão das redes de micélios nos diferentes horizontes dos solos ricos em matéria orgânica decomposta (Talbot et al. 2013) formam interconexões entre plantas, resultando em "teias de micélios", devido a colonização de várias plantas em simultâneo (van der Heijden et al. 2015). A absorção de açúcares resultantes da actividade fotossintética das plantas (Shah et al. 2016), permite que a simbiose estabelecida resulte na formação de corpos frutificantes dos fungos ECM. Os fungos ECM incrementam a expansão da superfície das raízes no solo, atingindo grandes profundidades e facilitando a absorsão de nutrientes pelas plantas, uma interação crucial para a estabilidade e funcionalidade das florestas (Harkonen et al. 2015; Wilson et al. 2017).

Os fungos endomicorrízicos são constituídos por muitas espécies do filo Zygomycota e geralmente não formam corpos frutificantes, ocorrem em subsolos, pois colonizam a região

intracelular da epiderme das raízes de aproximadamente 80% das plantas vasculares (Bonfante & Genre 2010; Rodríguez-Echeverría et al. 2017). Os fungos endomicorrízicos interferem na diversidade e produtividade de muitas espécies de gramíneas, pois têm o sistema radicular pouco profundo facilitando pesquisas da flora fúngica (Harkonen et al. 2015). A ocorrência de fungos endomicorrízicos nas raízes de algumas espécies arbóreas e arbustivas (Harkonen et al. 2015), é pouco conhecido devido a profundidade do sistema radicular. Os fungos endomicorrízicos facilitam as plantas no acesso aos nutrientes e sais minerais do solo e absorvem os compostos de carbono resultantes da fotossíntese (Finlay 2004). Vários estudos demostraram a importância dos fungos endomicorrízicos nos ecossistemas, devido à capacidade de transportar nitrogénio (Hodge 2001) e tolerância aos habitats húmidos e secos, influenciando na resposta das plantas quando submetidas em stress ambiental (Bohrer et al. 2004).

Os dois grupos de fungos micorrízicos interferem na composição de espécies arbóreas, desempenhando o papel de agentes protectores radiculares (Sikes 2010), pois em resposta a competição por espaço e nutrientes com os agentes patogénicos, pode ocorrer o parasitismo ou intensificação da actividade metabólica dos fungos micorrízicos (Tahat et al. 2010), resultando na produção de diferentes enzimas que influenciam nas respostas físicas e fisiológicas das plantas, influenciando no estado sanitário e na reacção à infecção de vários patogénos radiculares (De La Peña et al. 2006; Sikes et al. 2009). Estudos demostram que os fungos micorrízicos são excelentes agentes de controle biológico de nemátodos consumidores de raízes (De La Peña et al. 2006). Adicionalmente, estudos em plantações florestais demostram que plantas associadas aos fungos micorrízicos são pouco susceptíveis a necroses e a taxa de sobrevivência melhora significativamente (Wehner et al. 2010).

As plantas invasoras são caracterizadas pela elevada competitividade e produtividade primária, absorvendo grandes quantidades de nutrientes e reduzindo a diversidade de plantas nativas (Callaway et al. 2008; Pringle et al. 2009; Wilsey et al. 2014). Em habitats com ocorrência de plantas invasoras, a simbiose entre as plantas nativas e os fungos micorrízicos torna-se extremamente fundamental na determinação primária do estado sanitário das plantas, assim como no melhoramento da fertilidade dos solos nos ecossistemas (Jeffries et al. 2003; Chen et al. 2018b), pois há maior eficiência na mobilização da água, nutrientes e aumento da estabilidade de partículas do solo (Mo et al. 2016; Pereira et al. 2016). A melhoria das condições nutricionais das plantas nativas reduz o impacto das plantas invasoras, pois a colonização dos fungos micorrízicos pode afectar as actividades vegetativas e reprodutivas das plantas nativas (Miller et al. 1995; Philip et al. 2001), aumentando o número de inflorescências, produção de frutos e sementes, resultando em descendentes de plantas nativas mais vigorosos, particularmente as espécies ameaçadas (Pendleton 2000; Philip et al. 2001).

Fungos micorrízicos facilmente absorvem nutrientes disponíveis nos solos devido à alteração da estrutura, porosidade e aeração dos solos, propriedades que influenciam na mobilidade de água e na resposta ao stress hídrico (Hodge 2001; Bothe et al. 2010; De Carvalho et al. 2012; Talbot et al. 2013). A alteração da estrutura dos solos pela acção das micorrizas, resulta no aumento da capacidade de absorção de água e sais minerais pelas raízes das plantas (Rillig & Mummey 2006; Daynes et al. 2013), favorecendo a captação de componentes fundamentais na realização do processo fotossintético. As plantas associadas as micorrizas desenvolvem-se e mantêm a qualidade nutricional, gerando um efeito cascata na transferência de energia ao nível do ecossistema (Stevens et al. 2018).

Os fungos parasitas estabelecem diferentes estratégias de colonização das plantas, das quais algumas resultam na morte do seu hospedeiro. A morte das plantas por parasitismo e patologias

geralmente atribuí-se aos fungos, constituindo uma das principais ameaças de plantas florestais e culturas agrícolas (Doehlemann et al. 2017). Por tanto, alguns fungos são biotróficos, responsavéis pela colonização dos tecidos vivos das plantas para a obtenção de nutrientes (Doehlemann et al. 2017). Outros fungos como o gênero *Armillaria* são necrotróficos (Baumgartner et al. 2011; Harkonen et al. 2015), grupo de fungos parasitas causadores de doenças radiculares, podendo alastrar-se para outros órgãos da planta como ramos, folhas e frutos (Rizzo & Harrington 1993; Ritz 2004) e dependendo da tolerância das plantas estes fungos podem causar a morte dos seus hospedeiros (Harkonen et al. 2015). A expansão dos fungos patogénicos nas plantas ocorre através de mecanismos de fixação e dispersão dos esporos pelo vento, água e insectos (Doehlemann et al. 2017). A propagação dos fungos patogénicos ocorre assexuadamente através da expansão de micélios, (Rizzo & Harrington 1993) garantindo a geração de clones altamente adaptados as condições ambientais, provocando a morte de muitas plantas nativas e introduzidas (Coetzee et al. 2011; Koch et al. 2017). Alguns fungos necrotróficos exercem a função saprófita, pois a matéria orgânica resultante da morte do seu hospedeiro é usada como substrato para a sua posterior colonização (Rizzo & Harrington 1993; Harkonen et al. 2015).

1.3. Diversidade, sistemática e taxonomia dos fungos

Os fungos representam um dos grupos de organismos mais diversos existentes nos ecossistemas, pois existem aproximadamente 2.2 a 3.8 milhões de espécies de fungos (Hawksworth & Lücking 2017; Willis 2018), estimativa seis a oito vezes maior que o número de plantas estimado, correpondente a 381.910 espécies (Allkin et al. 2017; Willis 2018). Contudo, apenas 7 % das espécies de fungos encontram-se classificadas e descritas cientificamente (Hawksworth 2001; Hawksworth & Lücking 2017; Willis 2018). As estimativas baseiam-se na relação estabelecida entre os fungos e espécies de plantas descritas

em locais bem estudados dos continentes Europeu, Americano (Hawksworth 1991; Mueller et al. 2007) e parte da Ásia (Hawksworth 1991).

1.4. Principais grupos de fungos

1.4.1. Microfungos

Mediante o tamanho, os fungos estão divididos em dois grandes grupos: microfungos e macrofungos. Os microfungos (Willis 2018) englobam espécies visíveis somente ao microscópio e os seus orgãos reprodutivos são simples, apresentando características primitivas como a presença de talos rudimentares (Gäumann 1928; Mueller et al. 2007). Neste grupo encontram-se três filos: Cryptomycota, Chytridomycota e Zygomycota (Choi & Kim 2017). Os filos Cryptomycota (30 espécies) e Chytridomycota (980 espécies) têm reprodução sexuada e assexuada através de esporos flagelados, uma característica remanescente de seus ancestrais (James et al. 2006; Hibbett et al. 2007), pois a reprodução é dependente de água. As espécies destes grupos colonizam diferentes habitats anaeróbicos como solos, sedimentos marinhos e de água doce (Lepère et al. 2019). Funcionalmente, as espécies dos filos Cryptomycota e Chytridomycota são parasitas de outros fungos, insectos, plantas e anfíbios (Webster & Weber 2007; Spatafora et al. 2017). Estudos realizados mundialmente, demostraram que a interação estabelecida entre espécies do filo Chytridomycota e anfíbios constituem a actual ameaça que conduz ao declínio de muitas espécies de anfíbios (Kolby 2014; Piepenbring 2015). O filo Zygomycota com 1.100 espécies descritas, representa a transição da dependência do ambiente aquático à colonização dos ecossistemas terrestres (James et al. 2006), através da especialização de filamentos e produção de esporos aflagelados (Hibbett et al. 2007). Geralmente estabelecem simbiose com raízes de plantas, decompõem matéria orgânica de plantas e animais (Richardson 2009) e algumas espécies são parasitas de insectos pertencentes as ordens Lepidoptera, Ortoptera e Diptera (Benny et al. 2001).

1.4.2. Macrofungos

Os macrofungos constituem o grupo mais diverso dos fungos (Fig. 1), com cerca de 98 % de espécies descritas e pertecem ao clado Dikarya que incluí dois principais filos: Ascomycota e Basidiomycota (James et al. 2006; Hibbett et al. 2007; Priyamvada et al. 2017; Varga et al. 2019). Macrofungos são organismos holocárpicos (Gaumann 1928), pois na fase adulta e em condições ambientais favoráveis ocorre a diferenciação do micélio e a formação da frutificação no mesmo indivíduo, desempenhando funções vegetativa e reprodutiva, e facilmente distinguem-se sem o auxílio de microscópio (Priyamvada et al. 2017).

1.4.2.1. Caracterização do filo Ascomycota

O filo Ascomycota constituí o grupo mais diverso dos fungos, com aproximadamente 90.000 espécies descritas (Wills 2018). As espécies do filo Ascomycota caracterizam-se pela produção de esporos sexuais em ascósporos, compartimentos internos localizados no píleo ou chápeu (Gaumann 1928; Choi & Kim 2017). Ocorrem em habitats aquáticos, porém são mais frequentes em habitats terrestres e desempenham a função saprófita, pois decompõem uma infinidade de matéria orgânica (Lepere et al. 2016). Algumas espécies são parasitas necrotróficos de plantas e animais, como as espécies do subfilo Taphrinales que causam doenças de anomalias de crescimento das plantas (Webster & Weber 2007). As espécies de *Elaphomyces* pertencem ao grupo de trufas e estabelecem interações de simbiose com plantas vasculares através de micorrizas. Cerca de 40 % das espécies do filo Ascomycota são responsavéis pela formação de líquenes (Webster & Weber 2007; Stapafora et al. 2017), interação simbiótica entre fungos e plantas avasculares, às algas em particular (Tedersoo et al. 2018).

O filo Ascomycota dividi-se em três subfilos: Taphrinomycotina, Saccharomycotina e Pezizomycotina (James et al. 2006; Hibbett et al. 2018; Tedersoo et al. 2018). O subfilo Taphrinomycotina incluí cerca de 140 espécies descritas que formam leveduras e filamentos durante o seu crescimento (James et al. 2006; Stapafora et al. 2017). Essas espécies encontram-se amplamente distribuídas na natureza ocorrendo na água, solo, matéria orgânica vegetal e animal (Kurtzman & Sugiyama 2015). Algumas espécies dos gêneros *Taphrina* e *Protomyces* são patógenos de plantas causando necroses, outras espécies têm a função de decompositores e degradadores de lignina armazenada na matéria orgânica das plantas, como algumas espécies do gênero *Ogataea* (Stapafora et al. 2017).

O subfilo Saccharomycotina incluí cerca de 1.000 espécies em uma única ordem, Saccharomycetales (Shen et al. 2016). A diversidade metabólica do subfilo permite que estes sejam bem sucedidos na colonização dos principais biomas aquáticos e terrestres (Hittinger et al. 2015). Crescendo sob forma de leveduras, as espécies têm a funcionalidade saprófita e são responsavéis pela decomposição de uma variedade de matéria orgânica de plantas e insectos, porém algumas espécies como a *Eremothecium gossypii* são parasitas de plantas (Stapafora et al. 2017). O subfilo Pezizomycotina apresenta mais diversidade de espécies em relação aos subfilos Taphrinomycotina e Saccharomycotina, com 63.000 espécies descritas (Gaya et al. 2012; Spatafora et al. 2017). Espécies do subfilo Pezizomycotina são encontradas em diferentes ecossistemas, com funcionalidades saprófitos e parasitas de plantas, insectos e mamíferos (Piepenbring 2015). Algumas espécies estabelecem interações de simbiose com raízes das plantas, como a *Cenococcum geophilum* descrita como uma das espécies mais abundantes e responsáveis pela formação de fungos ectomicorrízos (Stapafora et al. 2017).

1.4.2.2. Caracterização do filo Basidiomycota

O filo Basidiomycota é o segundo grupo mais diverso dos fungos e incluí 50.000 espécies (Wills 2018). Os esporos sexuais são formados no píleo, em estruturas externas designadas basídios (Choi & Kim 2017). Ecologicamente diversos, ocorrem em habitats marinhos, água doce e habitats terrestres (Jones & Choeyklin 2007). Algumas espécies como a *Amillaria* são parasitas de plantas. Contudo, muitas espécies de *Agaricus* e *Coprinus* são saprófitas, realizando a decomposição de matéria orgânica (Webster & Weber 2007). O filo incluí espécies que estabelecem interações ectomicorrízicas com raízes das plantas, como a *Amanita* (Harkonen et al. 2015). O filo subdividi-se em três subfilos: Puccinomycotina, Ustilaginomycotina e Agaricomycotina (Tedersoo et al. 2018). O subfilo Pucciniomycotina tem aproximadamente 8.000 espécies descritas (James 2016). Ecologicamente, as espécies são cosmopolitas, ocorrendo em muitos habitats, incluindo solos, água doce e ambientes marinhos (Jones & Choeyklin 2008). Algumas espécies do subfilo Pucciniomycotina são micorrízicas e saprófitos. Porém, muitas espécies são parasitas de insectos e patógenos de plantas, destacando-se a doença de ferrugem das folhas (Park & Wellings 2012; James et al. 2016; Spatafora et al. 2017).

O subfilo Ustilaginomycotina incluí 1.700 espécies das quais 80 gêneros são parasitas de plantas angiospermas (James et al. 2016). Algumas espécies são cosmopolitas, havendo espécies restritas às regiões tropicais, temperadas ou árticas (Bauer et al. 2001). Geralmente, as espécies ocorrem associadas à plantas que colonizam habitats terrestres e marinhos (Jones & Choeyklin 2008). Os principais grupos de plantas parasitadas pelas espécies do Ustilaginomycetes são as plantas angiospérmicas e monocotiledóneas das famílias Poaceae em 42 % e Cyperaceae em 15 % (Bauer et al. 2001). O subfilo Agaricomycotina é os mais diverso do filo Basidiomycota e incluí 21.000 espécies, aproximadamente dois terços do número de

espécies descritas pertecentes ao filo Basidiomycota (James et al. 2016). Muitas espécies do subfilo Agaricomycotina geralmente têm lamelas na página inferior do píleo e são importantes em muitos ecossistemas, desempenhando a função de decompositores da matéria orgânica de plantas e animais encontradas nos substratos terrestres e aquáticos (Jones & Choeyklin 2008; James et al. 2016). Espécies desse subfilo são dominantes nas florestas, funcionando como simbiontes ectomicorrízicos e patógenos de plantas gimnospérmicas e angiospérmicas (Piepenbring 2015).

1.5. Macrofungos em ecossistemas florestais

Os ecossistemas florestais são importantes habitats para diversos grupos de organismos, estabelecendo interações complexas (Pereira 2015). As florestas são muito activas e constituem reservatórios de grandes quantidades de energia, devido a fotossíntese e retenção de nutrientes acumulados na matéria orgânica (Feest 2009; Zotti et al. 2013). A contínua manutenção dos ecosssistemas florestais é influenciada pela ocorrência de macrofungos, organismos com papel chave na regulação de processos ecossistémicos (Filippova & Bulyonkova 2017). Os macrofungos facilitam a disponibilidade e transporte de elementos essenciais para o crescimento contínuo das plantas, influenciando directamente a produção primária das florestas (Prayudi et al. 2018). Macrofungos são componentes determinantes das cadeias tróficas florestais, pois constituem base alimentar para muitos animais (Pereira 2015) e como decompositores os macrofungos saprófitos contribuem para a reciclagem da biomassa florestal através do processo de degradação (Arnolds 1992; Baral et al. 2015).

1.6. Estudos de diversidade de macrofungos

Inúmeros estudos de macrofungos demostram que os continentes Europeu e Americano são historicamente as regiões mais estudadas (Mueller et al. 2007; Schmit & Mueller 2007; Paz et

al. 2017; Willis 2018). As diferenças na diversidade de macrofungos nessas regiões deve-se a disponibilidade de informações das pesquisas realizadas, havendo falta da divulgação das pesquisas de outras regiões (Mueller et al. 2007; Hawksworth & Lucking 2017). Porém, actualmente vários estudos de diversidade de macrofungos vêm sendo desenvolvidos no continente Asiático (Fig. 2), pois recentemente foram descritas 35 % do número total de novas espécies para a ciência (Shao et al. 2011; Latha & Manimoham 2017; Feng & Yang 2018; Willis 2018). Diferentes espécies do subfilo Agaricomycotina foram descobertas (Park et al. 2017), destacando-se o gênero *Agaricus* (He et al. 2017; Martinez et al. 2019), pois constituí o grupo de macrofungos mais diverso e amplamente distribuído (Wei et al. 2004).

No entanto, muitos estudos de diversidade e ecologia dos macrofungos centralizam-se em ecossistemas das regiões temperadas (Mueller et al. 2007; Piepenbring 2007; Angelini et al. 2016b). Contudo, as regiões tropicais são caracterizadas pela presença de muitos ecossistemas e a ocorrência de diversos microhabitats resultante da elevada diversidade de plantas vasculares (Hawksworth 2001) e a existência de condições ambientais favoráveis para o crescimento dos macrofungos (Mueller et al. 2007). Assim, estima-se que as regiões tropicais apresentam maior diversidade de macrofungos em relação as regiões temperadas (Mueller et al. 2007; López-Quintero et al. 2012; Priyamvada et al. 2017). Estudos de meta-análises demostraram que as regiões temperadas têm aproximadamente 23.382 espécies de macrofungos e as regiões tropicais 9.245 espécies de macrofungos descritas (Mueller et al. 2007; Schmit & Mueller 2007; Aime & Brearley 2012). A estimativa da diversidade de macrofungos baseiam-se na diversidade de plantas vasculares de uma região (Hawksworth 1991). O cálculo da estimativa sobre a diversidade efectua-se mediante a razão macrofungo por planta F:P e geralmente faz-se em parcelas permanentes, demostrando assim que a diversidade de plantas vasculares é um indicador estatisticamente significativo (Schmit 2005; Hawksworth & Lücking 2017). Nas

regiões temperadas a razão macrofungo por planta F:P é de 2:1, porém nas regiões tropicais a razão é de 6:1 demostrando claramente a diversidade de macrofungos que as regiões tropicais apresentam (Muller et al. 2007; Hawksworth & Lucking 2017).

1.7. Estudos de diversidade de macrofungos nas regiões tropicais e em África

As regiões tropicais, em particular os ecossistemas africanos apresentam uma diversificação de habitats que englobam elevada riqueza de espécies de plantas amplamente representadas em diferentes formações florísticas (Linder et al. 2014; Sosef et al. 2017) e uma vasta diversidade de outros grupos de organismos (Hillebrand 2004). Alguns ecossistemas africanos, como as florestas afromontanhosas e as savanas são reconhecidos como centros de diversidade e endemismo de plantas (Linder 2001; Sosef et al. 2017). Estima-se a existência de aproximadamente 45.000 espécies de plantas em África, ocupando cerca de 29 milhões/km^2 (Mueller et al. 2007; Klopper et al. 2014). Com aproximadamente 2.250 espécies de macrofungos (Schmit & Mueller 2007), apenas 4 % das espécies existentes no continente Africano foram descritas (Mueller et al. 2007; Willis 2018). Alguns estudos de diversidade de macrofungos desenvolvidos em diferentes habitats na Zâmbia e África do Sul demostraram o elevado potencial micológico existente na região (Crous et al. 2006; Mueller et al. 2007; Harkonen et al. 2015). No ecossistema de Serengeti-Mara, área de conservação entre Tanzânia e Quénia, desenvolveu-se estudos de diversidade de macrofungos em muitos habitats e as florestas apresentaram maior diversidade que as savanas (Tibuhwa et al. 2011). Nas savanas, as espécies micorrízicas associaram-se às gramíneas melhorando as qualidades nutricionais do pasto para os animais herbívoros, influenciando na distribuição e no aumento de espécies herbívoras em ecossistemas de áreas protegidas (Stevens et al. 2018).

1.8. Estudos de diversidade de macrofungos em Moçambique

Moçambique é um país com elevada diversidade de ecossistemas e habitats que albergam uma rica biodiversidade (WWF 2016). Embora a diversidade de organismos seja estimada em 9.780 espécies (WWF 2016), levantamentos de biodiversidade tornam-se necessários para preencher as lacunas taxonómicas, biogeográficas e funcionais das espécies existentes (Müller et al. 2012; Timberlake et al. 2016; Naskrecki et al. 2018). Em muitos levantamentos de biodiversidade os taxas mais estudados têm sido as plantas, insectos e vertebrados (McLennan & Plumptre 2012; Timberlake et al. 2016; WWF 2016; Naskrecki et al. 2018), havendo poucos estudos de macrofungos (Fig. 3).

Estudos de macrofungos realizados em Moçambique geralmente centralizam-se em espécies com elevado valor nutricional e económico, como os cogumelos (Uaciquete et al. 1996), pois constituem um dos principais produtos florestais não-madeireiros colectados e consumidos por muitas comunidades rurais (Marzoli 2007; Harkonen et al. 2015). Os estudos resultaram na descrição do gênero *Amanita* (Harkonen et al. 2015; Alberto et al. 2019), havendo assim poucos registos de estudos de ecologia e diversidade de macrofungos no país, em particular nas áreas de conservação (Karakehian et al. 2018).

1.9. Macrofungos em áreas de conservação

As áreas de conservação constituem estratégias para minimizar as contínuas perdas de habitats e espécies muitas das quais listadas no IUCN (WWF 2016), garantindo assim a existência de espécies em seu habitat natural. A valoração de algumas áreas de conservação pode ser acrescida devido a ocorrência de espécies de macrofungos (Venturella et al. 2011). A ocorrência de macrofungos em áreas protegidas, em particular nas regiões tropicais é amplamente inexplorado, pois a maioria das pesquisas centram-se em plantas vasculares e nos

diferentes grupos de animais como insectos, mamíferos, aves, reptéis e anfibios (Tang et al. 2011). Porém, apesar de poucos estudos, as áreas de conservação são importantes locais de ocorrência dos macrofungos, devido a existência da representatividade e diversificação de habitats naturais favoráveis ao crescimento de muitas espécies de macrofungos (McMullan-Fisher et al. 2010).

Estudos demostram que os macrofungos desempenham uma função importante na manutenção dos processos chaves de vários ecossistemas existentes nas áreas de conservação (Stevens et al 2018), pois influenciam a produtividade primária e a qualidade nutricional de muitas espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas das florestas e savanas africanas (Seibold et al. 2015). Os diferentes grupos funcionais de macrofungos que ocorrem nas áreas de conservação são essênciais à sustentabilidade dos ecossistemas (De Carvalho et al. 2012; Turrini & Giovannetti 2012). As áreas protegidas apresentam maior diversidade de macrofungos que áreas não protegidas (Tibuhwa et al. 2011), pois em áreas protegidas os habitats geralmente são pouco perturbados (Seibold et al. 2015) e há ocorrência de muitas espécies de plantas que interagem directa ou indirectamente com as espécies de macrofungos (de Carvalho et al. 2012).

1.10. Factores que influenciam a distribuição de macrofungos

Os factores ambientais desempenham um papel fundamental na diversidade e composição de macrofungos. Vários estudos mostraram que factores bióticos e abióticos afectam o crescimento dos macrofungos nos ecossistemas florestais (Angelini et al. 2016a; He et al. 2017), dentre eles destacam-se a topografia, elevação, temperatura, precipitação e a composição florística (Laganà et al. 1999; Hobbs et al. 2006).

A temperatura e precipitação são factores complexos e cruciais para o crescimento, distribuição sazonal e ecológica de macrofungos, influenciando na sua fenologia (Ágreda et al. 2015, 2016).

Portanto, a abundância e ocorrência de muitas espécies de macrofungos pode variar em diferentes estações do ano ao longo de gradientes de elevação (Williams-linera et al. 2012). Os valores mínimos e máximos de temperatura e precipitação são fundamentais no início do processo de frutificação e produtividade dos macrofungos (Pinna et al. 2010). Porém, a temperatura e precipitação podem ser influenciados pelo gradiente de elevação. Estudos indicam que em baixas elevações, as temperaturas são elevadas e a precipitação é baixa, consequentemente a diversidade e riqueza de macrofungos pode ser influenciada negativamente (Chen et al. 2018). A topografia é outro factor importante na determinação da diversidade de espécies nos ecossistemas, devido a ocorrência de vários microhabitats (Moeslund et al. 2013; Guo et al. 2017). A topografia pode influenciar nas diferenças das variáveis solo, luz solar e microclimática, factores que podem afectar a diversidade e comunidades de macrofungos, e potencialmente as interações entre os macrofungos e ambiente (Guo et al. 2017).

A composição de espécies vegetais também influencia as espécies de macrofungos presentes em um determinado habitat (Gilbert et al. 2002; O'Hanlon & Harrington 2012). Muitos macrofungos saprófitos, micorrízicos e parasitas ocorrem apenas em associação com famílias ou gêneros de plantas específicos (Gómez-Hernández et al. 2012). A composição das espécies vegetais caracteriza o tipo de habitat e representa a principal fonte de obtenção de nutrientes para a maioria dos macrofungos. Portanto, algumas espécies podem ter uma variedade de preferências de hospedeiro ou substrato. Muitos macrofungos micorrízicos têm uma especificidade de hospedeiro (Pilz & and Molin 1996) e os decompositores podem estar restritos a um tipo específico de substrato (Boddy 2016). Além disso, a composição de plantas determina a disponibilidade de luz solar, humidade e composição da substrato nas florestas

(Chen et al. 2018b), influenciando nas interações que muitas espécies de macrofungos têm com certas espécies de plantas que contituem seus hospedeiros.

Capítulo II

2.1. Introdução

Macrofungos são organismos que apresentam estruturas esporádicas especializadas na reprodução e são facilmente visíveis sem auxílio de microscópio (Taylor & Pradhan 2013; Chen et al. 2018a). De uma maneira geral, os macrofungos são constituídos por filamentos finos designados por hifas que se desenvolvem e se ramificam nas extremidades, formando uma rede de micélio, que pode atingir vários metros de comprimento (Bonfante & Genre 2010; Richards et al. 2017). Os macrofungos reproduzem-se de forma assexuada e sexuadamente através de esporos que são dispersos pelo vento, insectos e outros animais de grande porte (Priyamvada et al. 2017). A nutrição dos macrofungos depende de outros seres vivos, portanto são organismos heterotróficos e alimentam-se por absorção, através das paredes e membranas celulares (Webster & Weber 2007; Ortiz et al. 2019). Com esta limitação, os macrofungos tiveram de adoptar diferentes estratégias para garantir a sua sobrevivência, por isso tornaram-se saprófitos, micorrízicos ou parasitas.

As espécies saprófitas desempenham um papel fundamental na decomposição da matéria orgânica e como decompositores primários dos ecossistemas desenvolvendo-se em excrementos, folhas, ramos, raízes, árvores mortas (Webster & Weber 2007). As enzimas produzidas pelos macrofungos durante a degradação da matéria orgânica influenciam muitos processos ecossistémicos (Baldrian 2008; Nicolás et al. 2017), assim sendo considerados engenheiros químicos e componentes primordiais dos ecossistemas (Osono 2005; Richards et al. 2017; Ortiz et al. 2019). Os macrofungos micorrízicos são fundamentais na regulação da produção primária de mais de 90 % das plantas vasculares através da simbiose com raízes dessas plantas (Oliveira 2005; Pereira 2015). Neste caso, a interação entre os macrofungos micorrízicos e as plantas é mutualista, ocorrendo a absorção de açúcares resultantes do

processo fotossintético devido ao alastramento dos filamentos dos macrofungos nos solos, melhorando a capacidade de absorção de água e sais minerais pelas raízes das plantas (Willis 2018). As micorrizas favorecem a regulação das temperaturas dos solos, garantindo que muitas plantas adquiram a capacidade de resistir à seca e outras alterações dos solos (Yuste et al. 2011; Mo et al. 2016). Adicionalmente, as enzimas produzidas durante as actividades metabólicas dos macrofungos reduzem a acção de patógenos radiculares nas plantas, funcionando como agentes de controle biológico (Sikes et al. 2009; Sikes 2010). Os macrofungos parasitas são responsáveis pela regulação da composição de plantas num ecossistema por causarem doenças radiculares, que originam a formação de clareiras permitindo o crescimento de espécies de plantas tolerantes a luz solar (Chen et al. 2018). Nas redes tróficas os macrofungos servem de base alimentar para muitas espécies faunísticas que consomem os esporos, hifas e corpos frutificantes constituindo organismos determinantes na continuidade das interações tróficas (Pereira 2015).

Representando um dos grupos de organismos mundialmente mais diversos (Argelini et al. 2016) os macrofungos são estimados em 2.2 a 3.8 milhões de espécies (Hawksworth & Lucking 2017; Willis 2018). No entanto apenas 7 % das espécies estão descritas e distribuídas em diferentes habitats, havendo evidências de espécies cosmopolitas assim como endêmicas (Hawksworth & Lucking 2017; Richards et al. 2017; Willis 2018). Estudos demostraram que a diversidade de macrofungos aumenta exponencialmente com a redução da latitude, pois a diversidade de plantas aumenta significativamente em direcção às regiões equatoriais (Mueller et al. 2007; Tedersoo et al. 2014). Assim, a diversidade de plantas constituí um dos principais factores que influenciam a diversidade de macrofungos (Tibuhwa et al. 2011), pois as florestas tendem a apresentar maior diversidade de substratos em relação às savanas (Rodríguez-Echeverría et al. 2017). Adicionalmente, outros factores como o microclima, precipitação e

elevação também influenciam na diversidade e distribuição dos macrofungos (Laganà et al. 1999; Gómez-Hernández et al. 2012; Guo et al. 2017).

Actualmente várias acções antropogénicas constituem uma ameaça à biodiversidade, em particular aos macrofungos, devido à fragmentação e perda de habitats, espécies invasoras e mudanças climáticas (Mueller et al. 2004). Com vista a minimizar o efeito das acções antropogénicas sobre a biodiversidade e garantir a continuidade de espécies em seus habitats naturais são estabelecidas áreas de conservação (WWF 2016), como o Parque Nacional da Gorongosa (PNG). O PNG é uma área de conservação altamente diversa em ecossistemas e paisagens naturais (Stalmans & Beilfuss 2008), que albergam populações de animais que encontram-se rapidamente em recuperação após uma guerra duradoura de 16 anos (Daskin et al. 2016; Stalmans et al. 2019). Estudos de biodiversidade realizados em muitas áreas de conservação, como o PNG geralmente concentram-se em produtores primários dos ecossistemas como as plantas vasculares, assim como insectos e muitas espécies de vertebrados que são consumidores e responsáveis pela regulação do equilíbrio ecossistémico (McLennan & Plumptre 2012). Apesar da importância ecossistémica, poucos estudos são realizados em organismos decompositores como os macrofungos que ocorrem em vários habitats (Karakehian et al. 2018; Ryvarden 2018). Os habitats húmidos constituem locais com elevada riqueza de espécies de macrofungos devido a disponibilidade de matéria orgânica e existência de água, factores importantes no processo de decomposição (Kutszegi et al. 2015). Alguns habitats do PNG, nomeadamente Serra da Gorongosa e áreas húmidas de solos aluviais que ocorrem ao longo do vale do Rift, assim como as margens do rio Púngue, permanecem húmidos durante vários meses (Tinley 1977; Stalmans & Beilfuss 2008) favorecendo a ocorrência de macrofungos.

Poucos estudos de macrofungos são realizados nas áreas de conservação, devido a elevada dependência da sazonalidade de factores ambientais associados aos padrões de frutificação de macrofungos (Andrew et al. 2013). A natureza efémera dos corpos frutificantes contribuí na imprevisibilidade dos períodos de frutificação de muitas espécies de macrofungos, facto observado em espécies com fortes variações anuais (Laganà et al. 1999; Andrew et al. 2013). Aspectos de natureza taxonómica também são limitantes em estudos de macrofungos, pois há escassez de chaves dicotómicas actualizadas para muitos grupos de macrofungos, dificultando a identificação (Pereira 2015).

Considerando que estudos de diversidade de macrofungos acrescentam importância aos habitats naturais e às plantas hospedeiras específicas das florestas, savanas e de outras formações florestais (Gómez-Hernández et al. 2012; Chen et al. 2018b), a documentação da diversidade de macrofungos nos diferentes ecossistemas das áreas protegidas é um passo crucial para conservação de macrofungos e os respectivos habitats (Mueller et al. 2004; Chen et al. 2017).

A escassez de conhecimento da diversidade de macrofungos existente no PNG dificulta a inclusão dos macrofungos nas decisões e estratégias de conservação, pois os macrofungos podem ser excelentes indicadores de tendências de funcionamento dos ecossistemas, aplicando-se como uma ferramenta para a monitoria da qualidade ecossistémica em muitos habitats, particularmente os habitats com elevado valor de conservação (Tibuhwa et al. 2011), como a Serra da Gorongosa. Para preencher a lacuna referente a reduzida informação dos macrofungos no PNG, a presente pesquisa pretende: i) determinar os diferentes índices de diversidade de macrofungos em dois dos habitats mais húmidos do PNG; ii) desenvolver modelos que expliquem melhor os principais factores que influenciam na sazonalidade dos

macrofungos no PNG, com vista a elaborar um guia de macrofungos dos dois dos habitats mais húmidos do PNG.

A pesquisa focalizou-se nas seguintes perguntas e hipóteses. 1. Quais são os principais grupos funcionais de macrofungos existentes em dois dos habitats mais húmidos do PNG? (i) Os macrofungos saprófitos constituem o grupo funcional predominante nos dois habitats, pois a decomposição corresponde a função primária dos macrofungos;

2. Qual é a diversidade de espécies de macrofungos existentes em dois dos habitats mais húmidos do PNG? (ii) Os dois habitats são diversos, porém as condições ecológicas de cada habitat são importantes na diferenciação da diversidade de macrofungos;

3. Quais são os principais factores que influenciam a diversidade e distribuição de macrofungos em dois dos habitats mais húmidos do PNG? (iii) A diversidade e distribuição de macrofungos são influenciadas pela variação da precipitação, abertura do dossel e estrutura e composição da comunidade vegetal de cada habitat.

2.2. Métodos

2.2.1. Descrição do sítio de estudo

O Parque Nacional da Gorongosa (PNG), situa-se na zona climática tropical de Moçambique na extremidade sul do Sistema do Vale do Grande Rift e tem aproximadamente 3.770 km² de extensão (Tinley 1977). O clima tropical seco da região dividi-se em duas principais estações anuais: seca e chuvosa. A variação das estações favorecem as mudanças de temperatura e precipitação, influenciando na ecologia de vários organismos da região e na sazonalidade de muitas espécies. A precipitação anual varia consideravelmente com o aumento da elevação, apresentando 840 mm para Chitengo e na Serra da Gorongosa os níveis pluviométricos são elevados, atingindo valores superiores a 2.000 mm (Tinley 1977; Daskin et al. 2015). Os ecossistemas e paisagens naturais do PNG são caracterizados pela ocorrência de florestas de Miombo na região central, florestais aluviais e savanas distribuídas entre os planaltos e planícies (Stalmans & Beilfuss 2008). A remanescente floresta tropical húmida na Serra da Gorongosa constituí um ecossistema único e principal fonte hidrológica do PNG, constituindo um dos elementos chave para a sobrevivência de diferentes espécies de flora e fauna do interior do PNG e das regiões circunvizinhas (Tinley 1977; Stalmans & Beilfuss 2008). O estudo foi realizado na picada Dingue-Dingue no interior do PNG e nas elevações médias da Serra da Gorongosa, habitats cujas características são bastante distintas.

2.2.1.1. Picada Dingue-Dingue

A picada Dingue-Dingue localiza-se numa das margens do rio Púngue, delimitando a área de protecção total do PNG e a comunidade de Vinho - uma das comunidades encontradas na zona tampão (Fig. 4). A picada é periodicamente inundada durante a estação chuvosa que ocorre entre os meses de Novembro a Abril, pois recebe a precipitação média anual de 900 mm (Tinley

1977; Stalmans & Beilfuss 2008). As margens do rio Púngue na picada Dingue-Dingue são predominadas por florestas de galeria fechadas e abertas com predominância das espécies *Piliostigma thonningii* e *Hyphaene coriacea* (Stalmans & Beilfuss 2008). Nas florestas de galeria há ocorrência de espécies arbóreas e arbustivas como *Sclerocarya birrea, Philenoptera violacea, Combretum adenogonium, Anona senegalensis, Vangueria infausta, Acacia sieberiana, Vachellia xanthophloea, Voacanga africana, Grewia flavences, Flueggea virosa, Lantana camara* e *Solanum aculeatissimum* (Stalmans & Beilfuss 2008). Adicionalmente, as savanas arbóreas encontradas na picada Dingue-Dingue são caracterizadas por gramíneas, em particular a espécie *Panicum maximum* havendo ocorrência de *Hyphaene coriacea* de forma isolada ou agrupada (Stalmans & Beilfuss 2008).

2.2.1.2. Serra da Gorongosa

A Serra da Gorongosa localiza-se no extremo oeste do PNG e desde 2010 constituí o ponto mais elevado com 1.863 m de elevação (Stalmans & Beilfuss 2008). A precipitação média anual no ecossistema da Serra da Gorongosa atingem níveis pluviométricos acima de 2.000 mm (Tinley 1977). Este ecossistema é importante na regulação do micro-clima regional (Stalmans & Beilfuss 2008) e na contínua drenagem da água às regiões do interior do PNG, garantindo a funcionalidade de muitos processos ecossistémicos (Tinley 1977). A floresta tropical húmida remanescente encontrada na Serra da Gorongosa, apresenta variações na composição de espécies florísticas em função do gradiente de elevação (Muller et al. 2012). O estudo realizou-se nas elevações médias (Fig. 4) entre 800 a 1.300 m, as quais são caracterizadas pela ocorrência de *Newtonia buchananii, Harungana madagascariensis, Albizia gummifera, Antidesma venosum, Erythrina lysistemom, Khaya anthotheca, Trichocladus ellipticus, Croton sylvaticus, Diospyros abyssinica, Aidia micrantha, Cussonia spicata, Schrebera alata, Garcinia kingaensis, Vangueria esculenta, Tarenna pavettioide, Albizia*

adhiantifolia, Syzygium cordatum e *Strychnos lucens* (Stalmans & Beilfuss 2008; Muller et al. 2012).

2.3. Métodos de campo

2.3.1. Desenho amostral

2.3.1.1. Picada Dingue-Dingue

Na picada Dingue-Dingue estudou-se apenas a margem do rio Púngue pertencente ao PNG e foram instaladas 16 parcelas nas florestas de galerias encontradas ao longo do rio Púngue (Fig. 5). As parcelas de 5 x 50 m, foram estabelecidas intencionalmente na direcção oeste para leste de acordo com a facilidade de acesso e homogenização dos habitats (Sutherland 2006). Devido a presença da picada entre as direcções oeste para leste, foi considerado o tampão de 10 m a partir da picada para dentro da floresta de galeria com vista a evitar a influência da picada no processo de colecta de dados (Fig. 6).

2.3.1.2. Serra da Gorongosa

Na Serra da Gorongosa 14 parcelas foram instaladas nas margens de três rios, dos quais o Rio Murombodzi é reconhecido como o maior rio da região. Doze parcelas de 5 x 50 m, foram instaladas ao longo das margens do rio Murombodzi e em cada margem foram instaladas seis parcelas (Fig. 6). Instalou-se uma parcela no Rio Tongo e a outra no Rio Namudjira. A semelhança da picada Dingue-Dingue, foi considerado o tampão de 10 m a partir da margem do rio para dentro da floresta ribeirinha (Fig. 7). Factores como declividade das margens do Rio Murombodzi, restrição do acesso a floresta tropical húmida remanescente devido a questões políticas, perda da floresta tropical húmida e perturbação de muitas áreas de florestas ribeirinhas, contribuíram para redução do número de parcelas instaladas na Serra da Gorongosa. Durante o processo de colecta de dados foram perdidas quatro parcelas, das quais

duas parcelas durante a terceira colecta e duas parcelas a durante quarta colecta de dados devido a limitação do acesso por questões políticas e acção das queimadas descontroladas.

2.3.2. Amostragem do material biológico

Nos dois habitats amostras de macrofungos foram colectadas mensalmente de Fevereiro a Outubro de 2019 e considerou-se quatro épocas de colecta de dados, correspondente aos meses de Fevereiro – Março como época chuvosa, Abril – Maio como época seca chuvosa, Junho – Julho como época seca fria e Agosto – Outubro como época seca quente.

Nas parcelas colectou-se amostras dos filos Ascomycota e Basideomycota encontrados acima do solo até 2 m de altura, pois constituem os dois maiores grupos de macrofungos. Efectuou-se a caracterização do habitat mediante a combinação de métodos de medição do diâmetro a altura do peito (DAP) das espécies arbóreas, abertura do dossel e estimativa da cobertura dos estratos arbustivos e herbáceos das parcelas, pois constituem os principais tipos de vegetação predominantes, variáveis que podem influenciar na ocorrência das espécies de macrofungos devido a disponibilidade de matéria orgânica a ser usada como suporte e fonte de obtenção de nutrientes.

2.3.2.1. Colecta de macrofungos

Em campo observou-se minunciosamente no interior das parcelas e colectou-se os macrofungos maiores de 0.1 cm de diâmentro do píleo (chápeu) encontrados em diferentes substratos como solos, excrementos, folhas, ramos e os macrofungos encontrados em árvores até 2 m de altura. Efectuou-se fotografias de macrofungos em seu habitat natural. Colectou-se as amostras com um bocado de substrato e colocou-se em envelopes de papel contendo anotações do número de colecção e da parcela, tipo de substrato e número de indivíduos. Características morfológicas como a cor, dimensões do píleo (chápeu) e estipe (pé), anotou-se

em campo porque os macrofungos facilmente perdem as suas características após a colecta, constituindo importantes elementos na identificação de macrofungos.

2.3.2.2. Caracterização da comunidade vegetal e sua estrutura

Com base nos parâmetros altura e ramificação a partir da base das plantas, classificou-se os estratos de vegetação em arbórea, arbustiva e herbácea. Realizou-se a contagem dos indivíduos pertecentes ao estrato arbóreo e calculou-se a abundância arbórea. Mediu-se o DAP à 1.30 m de altura para obtenção da dominância das espécies arbóreas, correpondente ao espaço ocupado por uma determinada espécie e efectuou-se a identificação das espécies no campo. Algumas espécies foram colectadas e posteriormente identificadas no Herbário do Laboratório de Biodiversidade Edward O. Wilson. Após a identificação as amostras foram preparadas, secas em estufa a 50º C por uma semana, montadas e conservadas a 16 ° C no Herbário do Laboratório de Biodiversidade Edward O. Wilson, no PNG.

Determinou-se a percentagem de cobertura através da medição do comprimento e largura da copa dos arbustos existentes nas parcelas. Mediante a adição dos valores obteve-se a percentagem de cobertura arbustiva e identificaram-se as espécies.

Mediu-se mensalmente o estrato herbáceo através de quatro quadrículas de 1 m^2 instaladas em cada canto da parcela. Sessenta e quatro quadrículas foram instaladas ao longo da margem do rio Púngue na picada Dingue-Dingue e 56 quadrículas foram instaladas ao longo das margens dos rios Murombodzi, Namudjira e Tongo na Serra da Gorongosa. Efectuou-se a estimativa da cobertura das plantas herbáceas no interior das quadrículas, aplicando 5 classes de cobertura: 0–25, 26–50, 51–75, 76–95% e > 95%. A identificação do substrato arbóreo efectuou-se mediante a contagem de árvores mortas presentes nas parcelas. A presença e ausência de matéria orgânica como folhas, ramos e gramíneas senescentes, usou-se para perceber os possíveis substratos dos macrofungos saprófitos.

2.3.2.3. Abertura do dossel

A abertura do dossel efectuou-se mediante a estimativa dos espaços não cobertos pelo dossel, através do densiômetro esférico convexo. Estabeleceu-se quatro pontos de leitura: um no início, dois no interior e um no final das parcelas. O densiômetro encontrava-se a 1 m do solo e as leituras foram efectuadas sempre pela mesma pessoa. As leituras decorreram nas quatro direcções cardiais (Norte, Sul, Este e Oeste). O densiômetro é composto por um espelho convexo, com o centro dividido em 24 quadrantes e para cada um destes dividi-se mentalmente em quatro subquadrantes correspondente ao total de 96 subquadrantes. Sistematicamente efectuou-se a estimativa do número de subquadrantes que reflectiam aos espaços do dossel sem presença de folhas. Os dados dos quadrantes obtêm-se através da média das leituras, somando as direcções cardiais para cada valor de abertura. A percentagem de abertura do dossel obtêm-se pela multiplicação da média das leituras pelo factor de correcção de 1.04. Mensalmente efectuou-se a medição da precipitação através do pluviómetro existente nas estações meteorológicas do Chitengo.

2.3.3. Métodos de laboratório

2.3.3.1. Fotografias e mapa de esporos

Em laboratório efectuou-se novamente fotografias das amostras de macrofungos permitindo captar detalhes como a presença de esporos no píleo, disposição e formato das lamelas, respectivos números de colecções com vista a complementar as fotografias anteriormente feitas no campo .

Obteve-se o mapa de esporos mediante cortes transversais e sobreposição da página inferior do píleo sobre uma folha de papel branco a temperatura ambiente por 12 horas. O procedimento foi efectuado durante a noite devido a elevada sensibilidade dos macrofungos a acção de

deterioradores. Posteriormente fotografou-se o mapa de esporos e associou-se a respectiva amostra. Não foram obtidas fotografias e mapas de esporos para todas as amostras de macrofungos colectadas, devido a danificação durante o transporte do campo ao laboratório, tamanho reduzido dos macrofungos e desidratação do píleo após a colecta das amostras.

2.3.3.2. Secagem, conservação e identificação

Desidratou-se as amostras de macrofungos em estufa a 50° C por 24 horas (Fosberg & Sachet 1965; Muller et al. 2004). Analisou-se o material colectado baseando-se em características macroscópicas como a coloração, altura, diâmetro, formato das lamelas, presença de anel e vulva. Igualmente formam observadas as características microscópicas como o formato das microlamelas e mapa dos esporos. Efectuou-se a identificação dos macrofungos considerando as características macroscópicas e microscópicas descritas. Algumas amostras de macrofungos foram identificadas até ao nível de ordem e outras até ao nível de família, gênero e espécie. A identificação efectuou-se mediante guias de campo, artigos relacionadas a estudos de descrição de algumas espécies de macrofungos (Harkonen et al 2015; Karakehian et al. 2018; Ryvarden 2018), chaves de identificação *online* como mycobank.org e mushroom.expert. As amostras devidamente etiquetadas foram conservadas em sacos de papel e polipropileno a 16° C no Herbário Botânico do Laboratório E.O Wilson.

2.4. Análise de dados

Para avaliar o número de espécies e a suficiência da amostragem utilizou-se a curva de acumulação de espécies. Os grupos funcionais nas quatro épocas de colecta foram obtidos através do teste de Chi-quadrado. Efectuou-se a correcção da riqueza e abundância de espécies, pois houve variação do número de parcelas em algumas épocas de colecta. A correcção da riqueza e abundância de espécies tinha como objectivo minimizar o efeito do número de

parcelas percorridas por época de colecta e para tal dividiu-se a riqueza e abundância dos macrofungos pela área total das parcelas percorridas nas respectivas épocas.

Para determinar o quanto a diversidade de espécies encontrava-se relacionada com os diferentes factores ambientais, foram analisadas um total de 11 variáveis. As variáveis analisadas foram: épocas de colecta, riqueza de plantas arbóreas, abundância de plantas arbóreas, dominância arbórea, abertura do dossel, presença de árvores mortas, riqueza arbustiva, abundância arbustiva, cobertura arbustiva, cobertura herbácea e precipitação. Para Serra da Gorongosa, excluiu-se a variável precipitação por insuficiência de dados meteorológicos detalhados e actualizados da região. No entanto, foram feitas algumas observações gerais em relação a precipitação e formação dos macrofungos com base em registos da precipitação dos anos anteriores.

Através do *software* R v. 3.6.1., efectuou-se a normalização dos dados mediante o teste de Shapiro-Wilk. Usou-se a função "lmer" para criar modelos lineares entre as variáveis ambientais e riqueza e abundância de espécies, com vista a identificar as principais variáveis ambientais que explicam a distribuição e variação dos macrofungos nas quatro épocas em estudo. Adicionalmente foram determinadas a Análise de variância através da função "anova" para obter as diferenças significativas entre as variáveis.

O pacote estatístico Excel usou-se para elaborar os gráficos de frequência dos grupos funcionais nas respectivas épocas de colecta.

2.5. Resultados

2.5.1. Picada Dingue – Dingue

2.5.1.1. Curvas de acumulação de espécies

A curva de acumulação de espécies colectadas na picada Dingue-Dingue apresentaram tendência crescente das espécies com o aumento do esforço amostral (Fig. 8). Porém, nas épocas chuvosa, seca chuvosa e seca fria a estimativa das curvas de acumulação de espécies demostraram a insuficiência do esforço amostral (Fig. 9, 10 e 11), pois não houve estabilização da curva de espécies em relação a riqueza de espécies. A curva de acumulação de espécies na época seca quente apresentou suficiência do esforço amostral, havendo tendência crescente da curva com vista a atingir a estabilidade das morfo-espécies colectadas (Fig. 12).

2.5.1.2. Grupos funcionais de macrofungos

Macrofungos saprófitos, micorrízicos e parasitas foram os três grupos funcionais encontrados na picada Dingue-Dingue (Fig. 13). Porém, as morfo-espécies que pertencem aos grupos funcionais micorrízicos e parasitas não foram registadas em todas as épocas de colecta. O teste de Chi-quadrado demostrou que os macrofungos saprófitos não apresentaram diferenças estatísticas significativas em todas as épocas de colecta ($X^2 = 1.3$; $GL = 9.4$; $P = 0.83$).

2.5.1.3. Riqueza de morfo-espécies

Colectaram-se 544 macrofungos pertecentes aos filos Basidiomycota e Ascomycota. No total 300 morfo-espécies foram encontradas, das quais 181 pertencem a picada Dingue-Dingue. Nas diferentes épocas foram colectadas 4 ordens de macrofungos e 151 morfo-espécies pertencem a ordem Agaricales (Fig. 14). No total foram encontradas 14 famílias de macrofungos, das quais destacaram-se a Marasmiaceae, Polyporaceae, Psathyrellaceae e Agaricaceae (Fig. 15).

Diferenças estatísticas significativas (F = 21.88; GL = 34; P < 0.01) foram encontradas na riqueza de morfo-espécies durante as época chuvosa, seca chuvosa, seca fria e seca quente. Na época chuvosa foram registadas 90 morfo-espécies, constituíndo a época de maior riqueza (Fig. 16). Quarenta e sete morfo-espécies foram identificadas até ao nível de gênero e 23 morfo-espécies como *Marasmius haematocephalus* (Mont.) Fr. (1838), *Schizophyllum commune* Fr. (1821), *Hexagonia hydnoides* (Sw.) M. Fidalgo (1968) e *Neofavolus alveolaris* (DC.) Sotome & T. Hatt (2012) foram identificadas até ao nível da espécie (Tabela 1).

2.5.1.4. Abundância de morfo-espécies

Oitocentos e trinta e oito indivíduos de macrofungos foram colectados e verificou-se flutuações nas diferentes épocas. Diferenças estatísticas significativas (F = 3.59; GL = 34; P = 0.02) foram encontradas na abundância de morfo-espécies durante as épocas chuvosa, seca chuvosa e seca fria (Fig. 17). As épocas seca chuvosa e seca quente não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Muitas morfo-espécies da ordem Agaricales encontradas na picada Dingue-Dingue durante as épocas chuvosa, seca chuvosa e seca fria apresentaram hábitos de crescimento solitário e disperso. Porém, na época seca quente as morfo-espécies apresentaram hábitos de crescimento gregários e pertencem a ordem Polypores.

2.5.1.5. Diversidade de macrofungos

Houveram variações na diversidade de morfo-espécies nas quatro épocas de colecta (Tabela 2). Através do índice de Shannon-Weaver (H'), maior diversidade de morfo-espécies foram encontradas na época chuvosa. A dominância das morfo-espécies representadas pelo índice de Simpson (1/D) foram elevadas na época seca fria. A máxima diversidade de macrofungos ocorreu durante a época chuvosa, apresentando o valor de equitabilidade de 0.87.

2.5.1.6. Influência dos parâmetros ambientais na diversidade de macrofungos

2.5.1.6.1. Precipitação

As variáveis ambientais precipitação e época de colecta correlacionaram-se positivamente com a riqueza e abundância de espécies na picada Dingue-Dingue. A precipitação apresentou diferenças estatísticas significativas (F = 5.34; GL = 60; P = 0.02) em relacção a riqueza e abundância de espécies, demostrando tendência de incremento das espécies na época chuvosa (Fig. 18).

2.5.1.6.2. Caracterização da comunidade vegetal

Quinze espécies arbóreas (Fig. 19) e sete espécies arbustivas (Fig. 20) caracterizaram a comunidade vegetal das florestas de galeria da picada Dingue-Dingue. *Piliostigma thonningii* e *Hyphaene coreacea* foram as espécies arbóreas predominantes. No estrato arbustivo, *Grewia flavescens* apresentou maior predominância. No geral, os estratos de vegetação herbácea, arbórea e arbustiva apresentaram correlação negativa com a riqueza e abundância dos macrofungos. A dominância arbórea não apresentou diferenças estatísticas significativas (F = 4.86; GL = 60; P = 0.06) na riqueza de macrofungos. Áreas com dominância arbórea menor apresentaram maior riqueza de macrofungos, pois representam áreas com clareiras permitindo a entrada da luz solar. A abundância arbórea à semelhança da dominância arbórea não apresentou diferenças estatísticas significativas (F = 3.8; GL= 60; P = 0.08) na riqueza e abundância de macrofungos, pois áreas com poucos indivíduos de plantas apresentaram maior riqueza de macrofungos. As variáveis ambientais referentes aos arbustos, plantas herbáceas e abertura do dossel não apresentaram diferenças estatísticas significativas com a riqueza e abundância de espécies na picada Dingue-Dingue (Tabela 3).

2.5.2. Serra da Gorongosa

2.5.2.1. Curvas de acumulação de espécies

A curva de acumulação de espécies colectadas na Serra da Gorongosa apresentam variações nas tendências das curvas em relação ao aumento do esforço amostral (Fig. 21). O esforço amostral aplicado na época chuvosa foi insuficiente, apesar da estabilização da curva de acumulação de espécies (Fig. 22). Nas épocas seca chuvosa, seca fria e seca quente a estimativa das curvas de acumulação de espécies demostram a suficiência do esforço amostral (Fig. 23, 24 e 25), pois as curvas apresentaram tendências a estabilização das morfo-espécies com o incremento da amostragem.

2.5.2.2. Gupos funcionais de macrofungos

Os grupos funcionais das amostras de macrofungos colectados na Serra da Gorongosa apresentaram variações similares à picada Dingue-Dingue, pois em todas as épocas de colecta houveram muitas morfo-espécies com funcionalidade saprófita (Fig. 26). O teste de Chi-quadrado apresentou diferenças estatísticas significativas ($X^2 = 2.4$; $GL = 5.9$; $P = 0.04$) nos grupos funcionais de morfo-espécies observadas.

2.5.2.3. Riqueza de morfo-espécies

Foram colectadas 119 morfo-espécies dos filos Basidiomycota e Ascomycota. Cento e dezanove morfo-espécies pertencentes a 8 ordens foram encontradas nas quatro épocas de colecta, dos quais os Polypores foram predominantes (Fig. 27). No total foram encontradas 24 famílias de macrofungos, das quais destacaram-se a Polyporaceae, Marasmiaceae e Schizophyllaceae (Fig. 28). Houveram acréscimos na riqueza de morfo-espécies ao longo das épocas de colecta (Fig. 29). Três épocas apresentaram diferenças estatísticas significativas na riqueza de macrofungos ($F = 7.82$; $GL = 48$; $P < 0.01$). Contudo, as épocas seca chuvosa e

seca quente não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Quarenta e seis morfo-espécies foram identificadas até ao nível de gênero e 34 morfo-espécies como *Mycena capillaris* (Schumach.) P.Kumm. (1871), *Hexagonia tenuis* (Hook) Fr., (1838), *Trametes elegans* (Spreng.) Fr., (1838) e *Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Singer (1951) foram identificadas até ao nível da espécie (Tabela 4).

2.5.2.4. Abundância de morfo-espécies

Três mil duzentos e noventa e oito indivíduos de macrofungos foram colectados na Serra da Gorongosa e houveram acréscimos na abundância de macrofungos nas quatro épocas de colecta (Fig. 30). Diferenças estatísticas significativas (F = 4.63; GL = 48; P = 0.006) foram encontradas na abundância de morfo-espécies durante a época chuvosa em relação às época seca chuvosa, seca fria e seca quente que não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Muitas morfo-espécies da ordem Polypores e algumas da Agaricales, apresentaram hábitos de crescimento gregários.

2.5.2.5. Diversidade de macrofungos

Os índices de diversidade apresentaram diferenças entre as épocas de colecta (Tabela 5). Não houve diversidade de macrofungos durante a época chuvosa, pois o índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') foi zero. A máxima diversidade de morfo-espécies foram encontradas na época seca quente. Valores elevados de dominância de morfo-espécies verificarm-se na época seca fria.

2.5.2.6. Influência dos parâmetros ambientais na diversidade de macrofungos

2.5.2.6. Época de colecta e caracterização da comunidade vegetal

Diferenças estatísticas significativas foram encontradas na riqueza e abundância de macrofungos (F = 7.78; GL = 47; P < 0.05) em relação à época de colecta. Vinte e três espécies

arbóreas (Fig. 31) e dez espécies arbustivas (Fig. 32) caracterizaram a comunidade vegetal das florestas ribeirinhas da Serra da Gorongosa. *Albizia adianthifolia* foi a espécie arbórea predominate. *Dombeya burgessiae, Leonotis nepetifolia* e *Lantana camara* constituíram as espécies do estrato arbustivo mais predominantes.

Os estratos de vegetação herbácea, arbórea e arbustiva correlacionaram-se negativamente com a riqueza e abundância dos macrofungos. A dominância arbórea não apresentou diferenças estatísticas significativas (F =3.94; GL = 50; P = 0.06) em relação à riqueza de macrofungos. Áreas com clareiras apresentaram máxima riqueza de espécies de macrofungos. A abundância arbórea de um modo semelhante, também não apresentou diferenças estatísticas significativas (F = 0.94; GL = 43; P = 0.34) em relação à riqueza de espécies, distribuindo-se similarmente em áreas com poucos indivíduos de plantas. As variáveis ambientais referentes aos arbustos, plantas herbáceas e abertura do dossel não apresentaram correlação positiva com a riqueza e abundância de macrofungos na Serra da Gorongosa (Tabela 6).

2.6. Discussão

Os resultados da pesquisa basearam-se em colectas de macrofungos que foram efectuadas em quatro épocas do ano para testar as hipóteses da existência de diversidade e os factores que influenciam a distribuição dos macrofungos em dois habitats húmidos no Parque Nacional da Gorongosa. A diversidade e abundância de espécies variaram nas diferentes épocas de colecta. Das variáveis ambientais estudadas, poucas correlacionaram-se com a diversidade e distribuição dos macrofungos nas quatro épocas de colecta. Os resultados da pesquisa providenciaram as primeiras informações importantes para melhorar o conhecimento da diversidade de macrofungos no PNG e aplicação dos macrofungos como indicadores da qualidade ecossistémica, demostrando a importância da continuidade deste trabalho num futuro próximo.

2.6.1. Grupos funcionais de macrofungos

As épocas de colecta tiveram influência nos grupos funcionais. Os macrofungos saprófitos tiveram maior frequência em todas as épocas de colecta. Os resultados suportam a primeira hipótese que os macrofungos saprófitos constituíram o grupo funcional mais predominante pois a decomposição é a função primária dos macrofungos. O crescimento dos macrofungos saprófitos depende da disponibilidade da matéria orgânica (WeiBbecker et al. 2018). A diversificação da matéria orgânica em habitats naturais permite que os macrofungos saprófitos estejam amplamente distribuídos num determinado habitat (Tibuhwa et al. 2011; Runnel & Lõhmus 2017). Algumas espécies como *Marasmius haematocephalus* (Mont.) Fr. (1838), *Schizophyllum commune* Fr. (1821) e *Flavodon flavus* (Klotzsch) Ryvarden (1973), foram encontradas em substratos diversificados como folhas, ramos e troncos de árvores em decomposição e solos com presença de matéria orgânica. Os resultados da pesquisa são

similares aos resultados encontrados em dois estudos anteriores (Karakehian et al. 2016; Ryvarden 2018).

Contudo, a riqueza de macrofungos pode ser influenciada pela origem do substrato. Na pesquisa, as espécies encontradas na picada Dingue-Dingue colonizavam substratos disponibilizados naturalmente. Consideram-se substratos vegetais disponibilizados naturalmente devido a queda natural das folhas, ramos e árvores (Rudolf et al. 2012). Porém, muitas espécies de macrofungos encontradas na Serra da Gorongosa, colonizavam substratos de queda induzida através do abate de árvores. Os substratos induzidos influenciam bastante na frutificação dos macrofungos saprófitos (Rudolf et al. 2012). Estudos demostraram que o abate de árvores favoreceram fortemente o crescimento dos macrofungos, devido a presença de matéria orgânica diversificada quantitativa e qualitativamente (Qintero et al. 2012; Rudolf et al. 2012).

Por outro lado, a riqueza e abundância de macrofungos saprófitos na pesquisa pode dever-se a função decompositora, facto que pode reduzir os níveis de competição com muitos organismos, porque a restrição do nicho ecológico permite que o grupo funcional saprófito encontre-se amplamente distribuído em diversos habitats. A restrição do nicho ecológico reduz a sobreposição funcional entre os macrofungos e outros organismos, sendo assim a especialização ecológica determina o nível de utilização de um recurso e o sucesso de diferentes grupos de organismos num habitat (Fodor 2011).

Os macrofungos micorrízicos encontrados durante a pesquisa não apresentaram elevadas proporções nos dois habitats. Isso pode ser explicado pelas taxas de crescimento em plantas anuais que geralmente são aceleradas, pois todas espécies micorrízicas foram encontradas em simbiose com raízes de gramíneas como a *Panicum maximum* e outras plantas herbáceas. Em plantas de crescimento rápido a produção de biomassa geralmente têm sido mais acelerada,

reduzindo a frutificação dos macrofungos micorrízicos que dependem directamente da produção das plantas (Argelini et al. 2016). Embora as regiões tropicais sejam potencialmente mais diversas, os macrofungos micorrízicos apresentam maior diversidade nas regiões temperadas (Tedersoo et al. 2014). A baixa diversidade de macrofungos micorrízicos nas regiões tropicais pode dever-se ao desenvolvimento de tecnologias avançadas como a aplicação de inoculantes micorrízicos em várias culturas agrícolas, assim como em plantas usadas em programas de reflorestamento nas regiões temperadas, pois melhoram o estado sanitário das plantas e competitividade com outras plantas (Oliveira et al. 2005), aumentando a diversidade de macrofungos nos ecossistemas florestais das regiões temperadas.

À semelhança dos macrofungos micorrízicos, o grupo funcional de macrofungos parasitas apresentaram números reduzidos, variando de quatro e sete espécies para a picada Dingue-Dingue e Serra da Gorongosa, respectivamente. Em outros estudos foram encontrados entre duas e sete espécies (O'Hanlon & Harrington 2012; Pereira 2015), indicando que poucas espécies de macrofungos têm a função parasita.

2.6.2. Riqueza e Abundância de macrofungos

Os habitats húmidos apresentaram elevados índices de diversidade de Shannon de 2.02 ± 1.17, valores relativamente aproximados aos resultados que foram obtidos em estudo de diversidade de macrofungos nos quais os valores do índice de Shannon apresentaram variação de 3.21 ± 2.65 (Andrew et al. 2013) e 3.22 ± 3.13 (Priyamvada et al. 2017). Estes resultados suportam a segunda hipótese, demostrando que os dois habitats húmidos do PNG são altamente diversos em macrofungos, porém pouco estudados.

No geral foram colectadas 181 morfo-espécies de macrofungos na picada Dingue-Dingue e 119 morfo-espécies foram colectadas na Serra da Gorongosa. Apenas oito morfo-espécies

como *Crepidotus vulgaris* Hesler & A.H. Sm. (1965), *Hexagonia tenuis* (Hook.) Fr., Epicrisis (1838), *Lentinus arcularius* (Batsch) Zmitr, 2010, *Marasmius androsaceus* (L.) Fr., Epicrisis (1838), *Marasmius haematocephalus* (Mont.) Fr., Epicrisis (1838), *Marasmius rotula* (Scorp.) Fr. 1837, *Marasmiellus candidus* (Fr.) Singer (1948) e *Schizophyllum commune* Fr. (1821) foram partilhadas nos dois habitats. Contudo, apesar da diversidade de espécies de macrofungos apresentar-se maior na picada Dingue-Dingue, a Serra da Gorongosa apresentou maior diversidade nas ordens, famílias e gêneros de macrofungos. A elevada diversidade de macrofungos pode estar relacionada as diferenças ecológicas entre os dois habitats, pois a picada Dingue-Dingue apresenta solos aluviais e florestas de galerias pouco perturbadas e em restauração (Stalmns & Beilfuss 2008). Porém, na Serra da Gorongosa os solos são ocupados por rochas e a cobertura florestal encontra-se bastante perturbada (Stalmans 2016). Nos solos aluviais ocorre a deposição regular de nutrientes e matéria orgânica durante as inundações que ocorrem anualmente, favorecendo o enriquecimento dos solos e a disponibilidade de nutrientes para o crescimento de macrofungos nas margens dos rios (Stalmns & Beilfuss 2008; Quintero et al. 2012).

Colectaram-se 300 morfo-espécies e 57 foram identificadas até ao nível de espécies. A identificação das morfo-espécies nos diferentes níveis taxonómicos pode ter sido influenciada pela deterioração de algumas amostras durante o processo de colecta, dificultando a observação de algumas características importantes na identificação de macrofungos. Porém, os dois habitats foram pouco estudados e apresentaram características bastante complexas e únicas, favorecendo a ocorrência de espécies de macrofungos exclusivas para cada habitat. Estudos demostraram que em regiões pouco estudadas, a probabilidade de ocorrência de novas espécies são bastante elevadas, tornando difícil o processo de identificação até ao nível de espécies devido a ausência de informação (Hawksworth 2001; Zaniewski et al. 2002). Actualmente, o

uso de marcadores moleculares robustos tornaram-se indispensáveis na identificação de macrofungos e outros organismos (Osmundson et al. 2013; Rajala et al. 2015).

A disponibilidade de humidade adequada para a frutificação dos macrofungos durante as épocas chuvosa e seca chuvosa contribuíram para o registo de maior diversidade de macrofungos na presente pesquisa. Estudos demostraram que em regiões tropicais, o máximo de espécies de macrofungos verificaram-se na época chuvosa (Harkonen et al 2015; Piepenbring et al. 2015). Entretanto, algumas regiões como a Serra da Gorongosa apresentaram variações no pico de diversidade de macrofungos, destacando-se a estação seca fria. Esses resultados foram observados em estudo similar desenvolvido no ecossistema de Serengueti-Mara, área de conservação entre Tanzânia e Quénia, na qual a maior diversidade de macrofungos foram observados nas épocas seca fria e seca quente (Tibuhwa et al. 2011). Estes resultados podes ser influenciados pelas actuais alterações no ciclo hidrológico devido às mudanças climáticas (Tadross et al. 2005; Tibuhwa et al. 2011; Kusangaya et al. 2014), pois na Serra da Gorongosa houveram chuvas durante toda época seca.

Algumas morfo-espécies de macrofungos foram encontradas apenas em uma época, enquanto outras foram encontradas em todas épocas de colecta. Este facto pode dever-se as diferenças entre o período de adequação das condições dos habitats e a produção das frutificações nas diferentes espécies de macrofungos registadas (Andrew et al. 2013). Por outro lado, as variações podem ocorrer devido a sucessão de macrofungos nos habitats estudados. O processo de sucessão macrofúngica envolve alteração na comunidade de macrofungos, assim como mudança da qualidade dos substratos (Rajala et al. 2015; Hiscox et al. 2016).

Em espécies de tamanhos pequenos como *Coprinus* sp., *Marasmius* sp. e *Mycena* sp. apresentam píleos delicados, estipes frágeis e geralmente habitam em locais bastante ricos em matéria orgânica (Tibuhwa et al. 2011; Ohanlon & Harrington 2012). Na pesquisa, as

frutificações das espécies *Coprinus hiascens* (Fr.) Redhead,Vilgalys & Moncalvo (2001), *Marasmius rotula* (Scorp.) Fr. (1837) e *Mycena capillaris* (Schumach.) P. Kumm. (1871), foram observadas logo após às chuvas, sendo assim consideradas espécies pioneiras na colonização da matéria orgânica.

As espécies de tamanhos pequenos frequentemente são efémeras, porque para fixarem-se e realizarem as actividades metabólicas as hinfas não penetram nos substratos, crescendo apenas superficialmente, facto que torna essas espécies muito sensíveis às alterações de humidade (Andrew et al. 2013). Contudo, muitas espécies de macrofungos reduzem as actividades metabólicas, mantêm o crescimento vegetativo dos micélios por longos anos e o processo de frutificação ocorre apenas em condições adequadas (Van Dijk et al. 2003; Gates et al. 2011).

Em espécies de tamanhos maiores como os Polypores, as frutificações são formadas durante a época seca, pois crescem com condições de baixos níveis de precipitação e altas temperaturas (Priyamvada et al. 2017). Na pesquisa, algumas espécies da ordem Polypores como a *Hexagonia hydnoides* (Sw.) M. Fidalgo (1968), *Hexagonia tenuis* (Hook.) Fr., Epicrisis (1838) e *Ganoderma tuberculosum* Murrill 1908 frutificaram durante a época seca. Porém, espécies como *Trametes versicolor* (L.) Lloyd (1920) e *Trametes* sp., encontradas na Serra da Gorongosa foram observadas em todas as épocas de colecta, considerando-se espécies perenes. Resultados similares foram observados com a espécie *Volvariella volvacea* (Bull.) Singer, Lilloa (1951) que não apresentou variação sazonal (van Dijk et al. 2003; Andrew et al. 2013).

A ocorrência anual dos Polypores pode dever-se ao número reduzido de consumidores como insectos e outros animais, havendo o aumento contínuo da abundância (Junninen & Komonen 2011; Andrew et al. 2013). Adicionalmente, as espécies da ordem Polypores produzem novas camadas para a produção de esporos em formato de escadas garantindo a contínua degradação da matéria orgânica (Crockatt et al. 2010; Andrew et al. 2013). O crescimento em formato de

escadas, constituí também uma importante estratégia reprodutiva que garante o sucesso de distribuição das espécies da ordem Polypores, pois alturas elevadas aumentam as probabilidades de dispersão dos esporos a grandes distância. Essas adaptações únicas garantem a sobrevivência das espécies da ordem Polypores por vários anos (Andrew et al. 2013; Dresch et al. 2015).

2.6.3. Factores que influenciam a diversidade de macrofungos

Os padrões de frutificação dos macrofungos variaram muito entre espécies e os grupos funcionais, em resposta a variação da precipitação. O resultado suporta a terceira hipótese, pois no geral, a elevada riqueza de macrofungos ocorreram após a precipitação. As épocas chuvosa (90 morfo-espécies) e seca chuvosa (59 morfo-espécies) na picada Dingue-Dingue apresentaram maior riqueza de macrofungos. Estudos similares demostraram que o pico de frutificação dos macrofungos ocorre entre os meses de Novembro a Abril (Harkonen et al. 2015), período caracterizado pela variação de temperaturas entre 25 a 30 º C e elevados níveis de precipitação (Tinley 1977). Os dados meteorológicos detalhados da picada Dingue-Dingue permitiram observar que a riqueza de macrofungos foi maior nas épocas com valores de precipitação que variaram entre 50 a 400 mm mensais. A frutificação de muitas espécies de macrofungos ocorre após a precipitação, porque a humidade constituí um factor fundamental no início da formação das estruturas responsáveis pela produção de esporos (Salerni et al. 2002; Karavani et al. 2018; Zamora et al. 2018).

Na Serra da Gorongosa durante a época chuvosa registou-se menos riqueza de macrofungos, apenas 12 morfo-espécies. Este facto pode ser explicado pelos elevados níveis pluviométricos que têm se verificado, em particular durante a época chuvosa devido a remanescente floresta tropical húmida que se encontra acima de 1.300 m de elevação (Tinley 1977; Stalmans & Beilfuss 2008). Com base nos registos anteriores, a precipitação na Serra da Gorongosa pode

atingir 925 mm somente durante a época chuvosa (Gasse 2006). Os níveis elevados de precipitação, causam excesso de água nos solos estimulando a alteração na fenologia de algumas espécies de macrofungos (Pinna et al. 2010). A alteração fenológica dos macrofungos ocorre devido a facilidade no processo de degradação da matéria orgânica e absorção de nutrientes pelos macrofungos. A elevada disponibilidade de matéria orgânica é extremamente influenciada pela elevada concentração de água nos solos e com isso os macrofungos investem a actividade metabólica no crescimento do micélio, retardando a frutificação (Pinna et al 2010). Porém, as épocas seca fria (65 morfo-espécies) e seca quente (38 morfo-espécies), apresentaram maior riqueza de espécies de macrofungos na Serra da Gorongosa, devido à redução da precipitação. A redução da precipitação na Serra da Gorongosa atinge valores que variam de 200 a 400 mm (Tinley 1977), diminuindo o excesso de água nos solos, criando assim condições favoráveis para a frutificação de muitas espécies de macrofungos (Salerni et al. 2002; Quitero et al. 2012; Harkonen et al. 2015).

Embora vários estudos demostram a existência de correlação positiva entre as plantas vasculares e a diversidade de macrofungos (Ferrer & Gilbert 2003; O'Hanlon & Harrington 2012; Chen et al. 2018), no presente estudo a diversidade de plantas vasculares não constituiu uma variável explicativa para riqueza e abundância de macrofungos.

As plantas vasculares providenciam a diversificação de habitats que favorecem a colonização de diferentes espécies de macrofungos (Gilbert et al. 2002; Rudolph et al. 2018). A baixa significância da diversidade de plantas vasculares na riqueza e abundância de macrofungos pode ser explicado pelo índice de diversidade de Shannon para plantas existentes nas parcelas em estudo.

Para a picada Dingue-Dingue o índice de diversidade de Shannon para plantas foi de 2.7, valor relativamente baixo para a diversidade de plantas vasculares em florestas de galeria das regiões

tropicais. Alguns estudos de diversidade de plantas vasculares em florestas de galeria das regiões tropicais apresentaram a variação de 4.1±3.9 e 3.09±1.09, considerando-se uma variável positivamente correlacionada com a riqueza e abundância de macrofungos nessas regiões, devido a qualidade e quantidade de substrato arbóreo disponibilizado pelas plantas (Chen et al. 2018). Muitas espécies colectadas, como *Marasmiellus* sp., *Coprinellus* sp., *Gymnopus* sp. e *Xylaria* sp. estavam associadas a *Piliostigma thonningii* e *Hyphaenia coreacea*. As duas espécies arbóreas são predominantes e características das florestas de galeria da picada Dingue-Dingue (Stalmans & Beilfuss 2008). Como muitas espécies da família Fabacea, a *Piliostigma thonningii* melhora a qualidade dos solos através dos nutrientes acumulados na sua biomassa, garantindo a existência de condições favoráveis para o crescimento de macrofungos (Chidumayo 2017).

A *Hyphaenia coreacea* pertence a família Arecaceae e geralmente apresentam folhas cobertas por película dérmica que favorece a conservação de humidade por período prolongado e decomposição lenta das folhas. O tronco e ramos da *Hyphaenia coreacea* é constituído por fibras que absorvem e conservam elevadas quantidades de humidade que permanecem por períodos prolongados.

Para as florestas tropicais húmidas, estudos de diversidade de plantas vasculares apresentaram o índice de diversidade de Shannon com valores que variaram de 2.7 a 3.8 (McLennan & Plumptre 2012; Katovai et al. 2015). Portanto, na região de elevações médias da Serra da Gorongosa foram observados índice de diversidade de Shannon de 2.4. A baixa diversidade de plantas vasculares na Serra da Gorongosa pode ser explicado pela redução da cobertura florestal ribeirinha e da floresta tropical húmida para a práctica da agricultura (Branch et al. 2017). Observou-se que as áreas anteriormente florestadas apresentaram alguns indivíduos adultos e regeneração de algumas espécies arbóreas, destacando-se a *Albizia adianthifolia*.

Portanto, muitas espécies de macrofungos estavam associados a *Albizia adianthifolia*, pois constituí uma das espécies usadas no sistema agro-florestal do café de sombra no âmbito do programa de reflorestamento da Serra da Gorongosa. *Albizia adianthifolia* é uma espécie usada em programas de reflorestamento de florestas tropicais húmidas porque para além de constituir espécie nativa desse ecossistema, garante o melhoramento da fertilidade dos solos contribuindo com 87 % de biomassa em solos em que são encontrados (Dossa et al. 2007). A espécie é heliófita pois tolera a exposição a luz solar e multiplica-se por sementes e regeneração, garantindo o sucesso durante o seu crescimento (Louppe et al. 2008; Correia et al. 2010).

2.7. Conclusões e recomendações

2.7.1. Conclusões

Como conclusão do estudo de diversidade e factores que influenciam a distribuição de macrofungos em dois dos habitats húmidos do Parque Nacional da Gorongosa, os resultados demostraram que há ocorrência dos três grupos funcionais principais de macrofungos, claramente dominados pelos saprófitos. Diferenças claras na diversidade de macrofungos foram encontradas nos dois habitats e nas quatro épocas de colecta, destacando-se as épocas de chuvas como as mais importantes, revelando a humidade como factor fundamental no estímulo da frutificação de muitas espécies de macrofungos. Contudo, as épocas de colecta influenciaram a distribuição dos macrofungos, pois ocorreram diferenças nas espécies e nos substratos colonizados pelos macrofungos.

Algumas variáveis ambientais como a precipitação e época de colecta influenciaram na variação dos macrofungos ao longo do estudo. Porém, apenas foram consideradas as variações causadas pela precipitação, pois a variável precipitação encontrava-se fortemente correlacionada com a época de colecta. Contudo, a precipitação foi a variável ambiental que melhor explicou a distribuição dos macrofungos.

O período de amostragem de um ano pode ter influenciado na fraca influência dos diferentes estratos vegetais na diversidade de macrofungos. Pois há evidências que períodos que variam de dois a cinco anos de amostragem são representativos para a caracterização da diversidade de macrofungos em diferentes ecossistemas (Durall et al. 2006; Robledo & Renison 2010; Angelini et al. 2016; Runnel & Lõhmus 2017). Entretanto, interações entre algumas espécies de macrofungos e espécies das famílias Arecaceae e Fabaceae foram estabelecidas, pois criaram condições favoráveis para a ocorrência de macrofungos. Esses factos enfatizam a necessidade de delinear estratégias de conservação de macrofungos e seus habitats a longo

prazo. Algumas acções como o maneio de queimadas e o reflorestamento da Serra da Gorongosa actualmente implementadas pelo PNG, são cruciais para conservar os habitats naturais e a diversidade macrofúngica pouco conhecida, pois as diferentes funcionalidades ecológicas dos macrofungos demostram elevada interdependência entre as espécies de macrofungos e os substratos existentes nos dois habitats.

O estudo resultou na elaboração do primeiro guia de identificação dos macrofungos da picada Dingue-Dingue e Serra da Gorongosa, fornecendo indicações que possibilitam o reconhecimento de muitas espécies que crescem no PNG.

2.7.2. Recomendações

Os resultados desta pesquisa constituíram como base de dados para estudos de tendências futuras de macrofungos associados às elevadas variações da precipitação. O estabelecimento de parcelas permanentes tornam-se importantes para estudos a longo prazo, pois houveram muitas espécies exclusivas nos dois habitats estudados, indicando as suas particularidades ecológicas. Esta diversidade de espécies pode ser aplicada no desenho de planos de monitoria de macrofungos no PNG, em particular às florestas perturbadas da Serra da Gorongosa.

O uso de técnicas de biologia molecular tornam-se fundamentais no processo de identificação de macrofungos, pois a flora micológica do PNG foi pouco estudada, havendo escassez de informação para a identificação até ao nível da espécie. A aplicação da ecologia isotópica para a distinção dos grupos funcionais é também uma componente fundamental, pois em algumas espécies foi difícil determinar se desempenhavam funções saprófitas, micorrízicas ou parasitas baseando-se apenas no tipo de substrato em crescimento. Estudos da ecologia isotópica são importantes na diferenciação das fontes de carbono para a composição das estruturas de reprodução dos macrofungos.

O delineamento de estratégias de conservação a longo prazo são importantes para a obtenção de informações detalhadas e fundamentais para a conservação dos macrofungos e seus habitats naturais.

Estudos de composição de espécies de macrofungos em outros habitats do PNG são importantes para a completa documentação dos macrofungos existentes no interior do parque e na zona tampão, com vista a compreender a valoração das diferentes espécies de macrofungos pelas comunidades residentes na zona tampão do PNG.

Tabelas e gráficos

Tabela 1. Morfo-espécies identificadas até ao nível do gênero e espécies na picada Dingue-Dingue

Nº	Nome científico
1	*Agaricus trisulphuratus* Berk. (1885)
2	*Agaricus crocopeplus* Berk. & Broome 1871
3	*Agaricus silvaticus* Schaeff. (1774)
4	*Agaricus* sp.D195
5	*Agaricus* sp.D205
6	*Agaricus* sp.D207
7	*Agaricus* sp.D210
8	*Agaricus* sp.D302
9	*Agaricus* sp.D304
10	*Agaricus* sp.D305
11	*Agaricus* sp.D306
12	*Agaricus* sp.D321
13	*Agaricus* sp.D322
14	*Amanita* sp.D224
15	*Auricularia* sp.D170
16	*Auricularia* sp.D192
17	*Coprinellus hiascens* (Fr.) Redhead, Vilgalys & Moncalvo (2001)
18	*Coprinellus* sp. D318
19	*Coprinellus* sp. D4
20	*Coprinellus* sp.D109
21	*Coprinellus* sp.D112
22	*Coprinellus* sp.D116
23	*Coprinellus* sp.D180
24	*Coprinellus* sp.D194
25	*Coprinellus* sp.D36
26	*Coprinellus* sp.D77
27	*Coprinus* sp.D213
28	*Crepidotus vulgaris* Hesler & A.H. Sm. (1965)
29	*Daldinia vernicosa* Ces. & de Not. (1863)
30	*Ganoderma* sp.D457
31	*Ganoderma* sp.D499
32	*Ganoderma tuberculosum* Murrill (1908)
33	*Gymnopus* sp. D211
34	*Hexagonia hydnoides* (Sw.) M. Fidalgo (1968)
35	*Hexagonia* sp.D310

36	*Hexagonia tenuis* (Hook) Fr.(1838)
37	*Laccaria* sp.D13
38	*Laetiporus* sp. D303
39	*Lentinus arcularius* (Batsch) Zmitr, 2010
40	*Lentinus strigosus* (Schwein)Fr.1838
41	*Lentinus velutinus* Fr. 1830
42	*Leucoagaricus bisporus* Heinem. 1973
43	*Lignosus* sp.D309
44	*Marasmiellus candidus* Fr. (1838)
45	*Marasmiellus* sp.D135
46	*Marasmiellus* sp.D142
47	*Marasmiellus* sp.D143
48	*Marasmius androsaceus* (L.) Fr. (1838)
49	*Marasmius haematocephalus* (Mont.) Fr. (1838)
50	*Marasmius rotula* (Scorp.) Fr. 1837
51	*Marasmius siccus* (Schwein.) Fr. (1838)
52	*Marasmius* sp.D131
53	*Marasmius* sp.D144
54	*Marasmius* sp.D212
55	*Marasmius* sp.D300
56	*Marasmius* sp.D311
57	*Marasmius* sp.D334
58	*Marasmius* sp.D83
59	*Marasmius* sp.D89
60	*Neofavolus alveolaris* (DC.) Sotome & T. Hatt (2012)
61	*Panaeolina acuminatus* (P. Kumm.) Quel (1872)
62	*Panaeolina foenisecii* (Pers.) Maire 1933
63	*Schizophyllum commune* Fr. (1821)
64	*Tetrapyrgos nigripes* (Fr.) E. Horak (1987)
65	*Tetrapyrgos* sp.D176
66	*Trametes* sp.D48
67	*Trametes* sp.D87
68	*Trametes* sp.D88
69	*Trametes* sp.S333
70	*Xylaria* sp.S246

Tabela 2. Índices de diversidade de macrofungos em diferentes épocas de colecta na picada Dingue-Dingue

Índices	Época chuvosa	Época seca chuvosa	Época seca fria	Época seca quente
Shannon H’	1.48	2.06	2.41	2.12
Simpson (1/D)	0.76	0.84	0.90	0.88
Fisher’s α	1.08	3.15	7.69	19.86
Equitabilidade	0.87	0.73	0.61	0.81

Tabela 3. Variáveis ambientais que não apresentaram correlação estatisticamente significativa com a riqueza e abundância de macrofungos na picada Dingue-Dingue

Variáveis	Df	F	P
Abertura do dossel	51	0.38	0.53
Riqueza arbórea	51	0.03	0.86
Abundância arbórea	60	3.8	0.08
Dominância arbórea	60	4.86	0.06
Cobertura arbustiva	51	0.42	0.5
Riqueza arbustiva	51	0.06	0.82
Abundância arbustiva	51	1.84	0.18
Cobertura herbácea	51	0.42	0.84
Substrato arbóreo	51	0.66	0.42
Época	51	1.12	0.33

Tabela 4. Morfo-espécies identificadas até ao nível do gênero e espécies na Serra da Gorongosa

Nº	Nome científico
1	*Agaricus* sp.S264
2	*Agaricus* sp.S266
3	*Agaricus* sp.S370
4	*Agaricus diminutivus* (L.) Peck (1902)
5	*Agaricus* sp.S432
6	*Amanita* sp.S375
7	*Amanita* sp.S379
8	*Amanita* sp.S415
9	*Anthracophyllum archeri* (Berk.) Pegler (1965)
10	*Antracobina* sp.S365
11	*Armillaria* sp. S230
12	*Auricularia auricula-judae* (Bull) Quel. 1886
13	*Auricularia delicata* (Mont.) Henn., (1893)
14	*Auricularia polytricha* (Mont.) Sacc. 1885
15	*Camarophyllus* sp.S413
16	*Cantharellus* sp.S357
17	*Cantharellus* sp.S374
18	*Chaetocalanthus africanus*
19	*Coprinellus disseminatus* (Pers.) Gray (1821)
20	*Coprinellus domesticus* (Bolton) Vilgalys, Hopple & Jacq. Johnson (2001)
21	*Cortinarius* sp.S429
22	*Crepidotus vulgaris* Hesler & A.H. Sm. (1965)
23	*Cyptotrama asprata* (Berk.) Redhead & Ginns (1980)
24	*Daedalea quercina* (L.) Pers. (1801)
25	*Daedalea* sp.S346
26	*Exidia nucleata* (Schwein.)
27	*Flavodon flavus* (Klotzsch) Ryvarden (1973)
28	*Favolus tenuiculus* P. Beauv., (1806)
29	*Gaestrum pectinatum* Pers., (1801)
30	*Ganoderma* sp.S234
31	*Ganoderma* sp.S279
32	*Hexagonia tenuis* (Hook) Fr., (1838)
33	*Inocybe* sp.S386
34	*Inonotus* sp.S299
35	*Lentinus arcularius* (Batsch) Zmitr, 2010
36	*Marasmiellus candidus* Fr., (1838)
37	*Marasmius androsaceus* (L.) Fr., (1838)
38	*Marasmius haematocephalus* (Mont.) Fr., (1838)

39	*Marasmius rotula* (Scorp.) Fr. 1838
40	*Marasmius siccus* (Schwein.) Fr., (1838)
41	*Marasmius* sp.S348
42	*Marasmius* sp.S349
43	*Marasmius* sp.S359
44	*Marasmius* sp.S361
45	*Marasmius* sp.S397
46	*Marasmius* sp.S420
47	*Morchella elata* Fr., (1822)
48	*Mycena capillaris* (Schumach.) P.Kumm. (1871)
49	*Mycena* sp.S363
50	*Mycena* sp.S439
51	*Mycena* sp.S447
52	*Mycena* sp.S526
53	*Phellinus gilvus* (Schw. Fr.) Pat., Essai (1900)
54	*Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Singer (1951)
55	*Pycnoporus sanguineus* (L.) Murrill (1904)
56	*Rickenella fibula* (Bull.) Raithelh (1973)
57	*Schizophyllum commune* Fr. (1821)
58	*Trametes elegans* (Spreng.) Fr., (1838)
59	*Trametes* sp.S100
60	*Trametes* sp.S241
61	*Trametes* sp.S242
62	*Trametes* sp.S248
63	*Trametes* sp.S250
64	*Trametes* sp.S251
65	*Trametes* sp.S252
66	*Trametes* sp.S261
67	*Trametes* sp.S262
68	*Trametes* sp.S367
69	*Trametes* sp.S372
70	*Trametes* sp.S414
71	*Trametes* sp.S477
72	*Trametes* sp.S521
73	*Trametes* sp.S538
74	*Trametes* sp.S95
75	*Trametes* sp.S96
76	*Trametes* sp.S97
77	*Trametes versicolor* (L.) Lloyd, (1920)
78	*Tremella fuciformis* Berk. 1856
79	*Tremella mesenterica* Schumach., (1803)
80	*Xylaria* sp.S246

Tabela 5. Índices de diversidade de macrofungos em diferentes épocas de colecta na Serra da Gorongosa

Índices	Época chuvosa	Época seca chuvosa	Época seca fria	Época seca quente
Shannon H’	0	2.37	2.43	2.13
Simpson (1/D)	0	0.89	0.90	0.86
Fisher’s α	0.27	6.22	4.45	4.14
Equitabilidade	0	0.92	0.92	0.89

Tabela 6. Variáveis ambientais que não apresentaram correlação estatisticamente significativa com a riqueza e abundância de macrofungos na Serra da Gorongosa

Variáveis	Df	F	P
Abertura do dossel	50	2.26	0.14
Riqueza arbórea	43	0.54	0.47
Abundância arbórea	43	0.94	0.34
Dominância arbórea	50	3.94	0.06
Cobertura arbustiva	50	2.47	0.12
Riqueza arbustiva	50	2.64	0.11
Abundância arbustiva	50	0.61	0.44
Cobertura herbácea	43	1.13	0.29
Substrato arbóreo	43	0.48	0.46

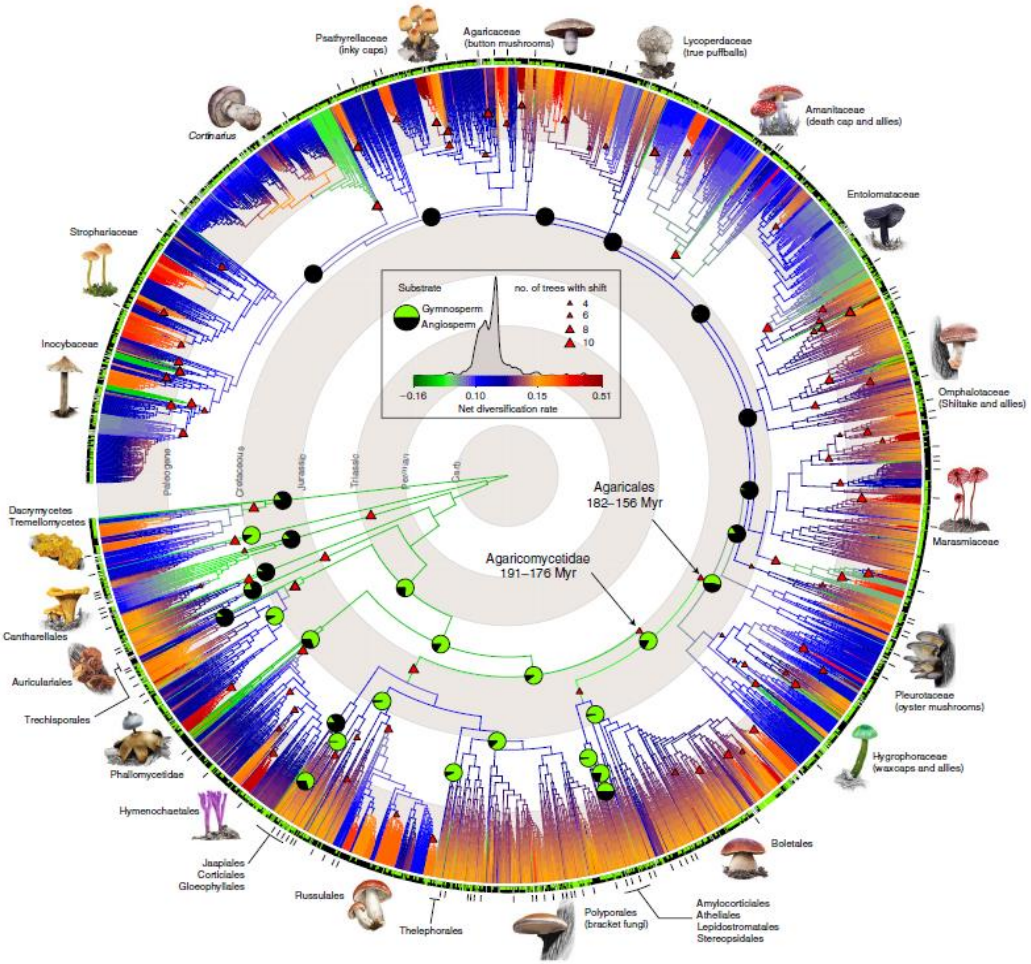

Figura 1. Relação filogenética e diversidade de espécies de macrofungos, em relação aos dois grupos de plantas superiores. Coloração verde: Plantas gimnospérmicas e coloração preta: plantas angiospérmicas. Fonte: Varga et al. (2019)

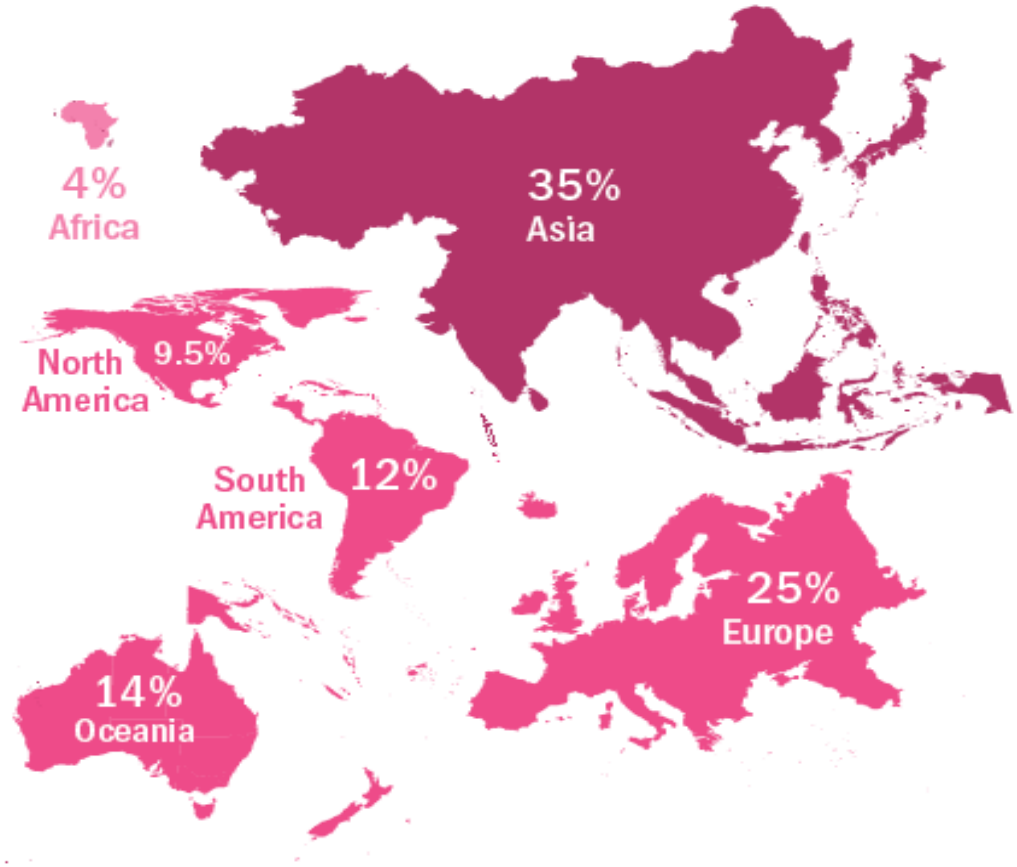

Figura 2. Percentagem de estudos e novas espécies de fungos descritos nos 5 continentes durante o ano de 2018. Fonte: Willis (2018)

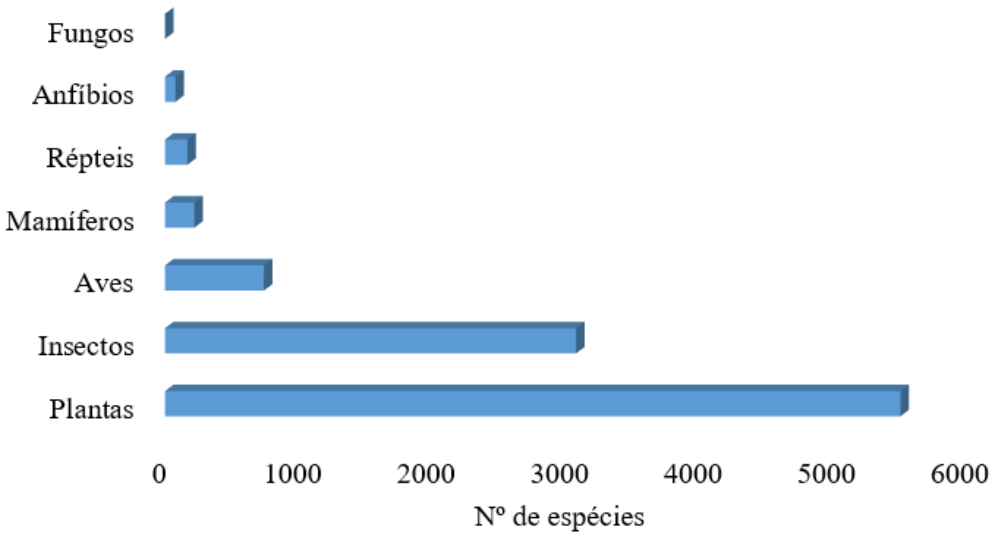

Figura 3. Estimativa da diversidade de espécies existentes em Moçambique (Adaptado WWF 2016)

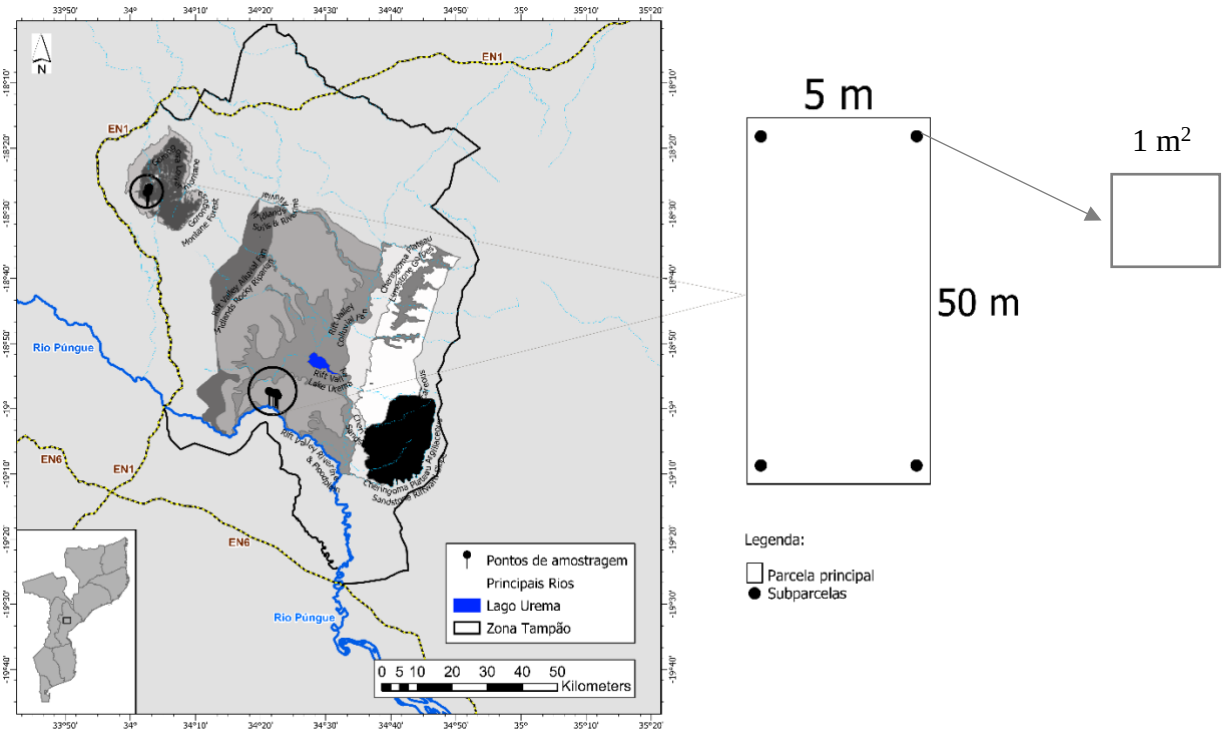

Figura 4. Mapa de localização da área de estudo (Picada Dingue-Dingue e Serra da Gorongosa)

Figura 5. Habitats da floresta de galeria na picada Dingue-Dingue

Figura 6. Habitats da floresta ribeirinha na Serra da Gorongosa

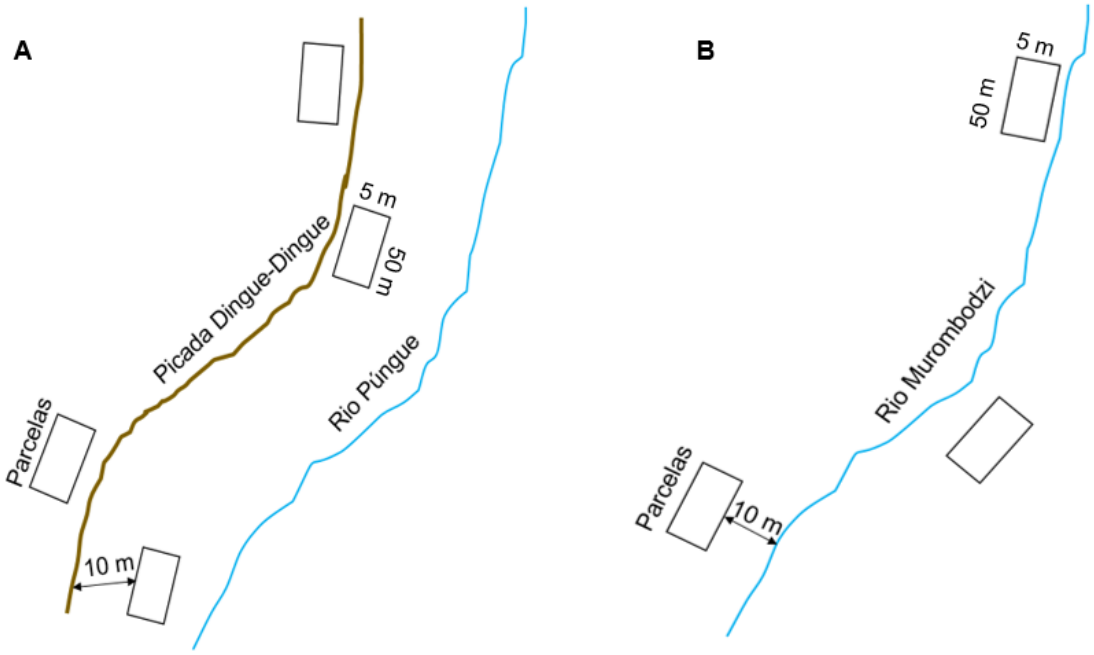

Figura 7. Representação de parcelas nos dois habitats: **A** – Disposição das parcelas na picada Dingue-Dingue e **B** - Disposição das parcelas na Serra da Gorongosa

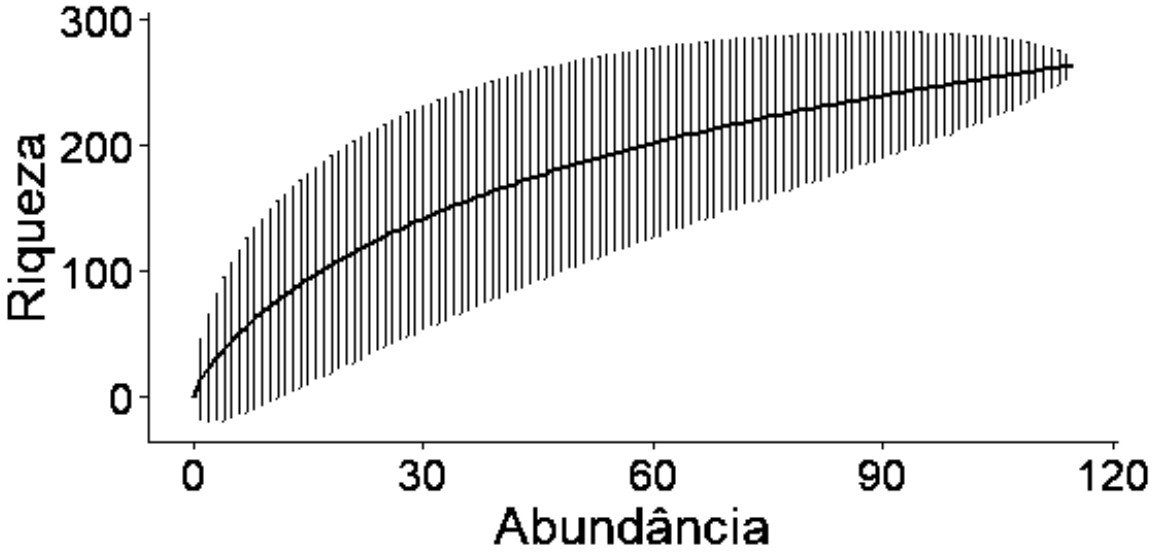

Figura 8. Curva de acumulação de espécies colectadas em todas épocas de pesquisa na picada Dingue-Dingue

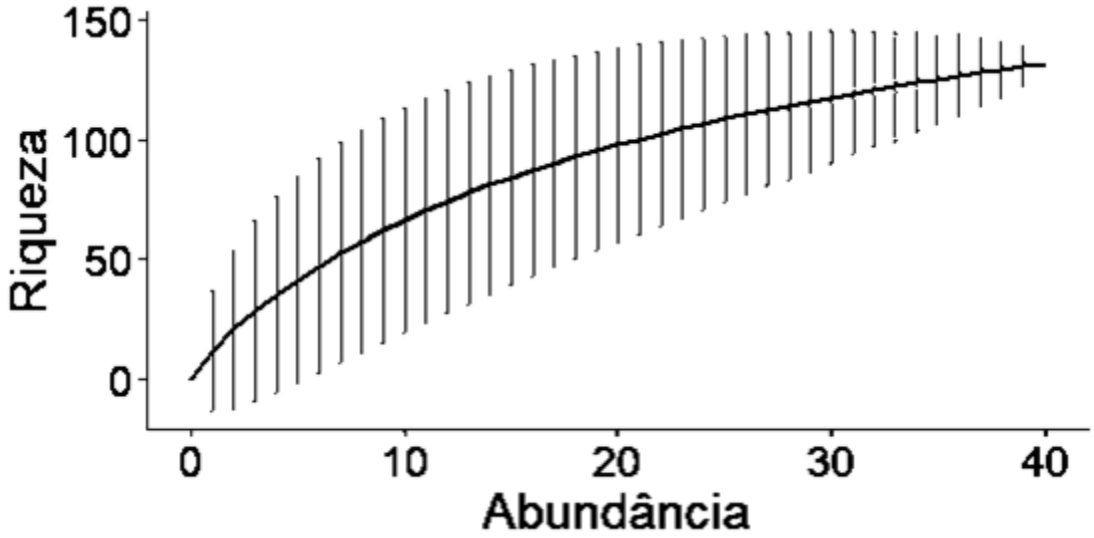

Figura 9. Curva de acumulação de espécies colectadas durante a época chuvosa na picada Dingue-Dingue

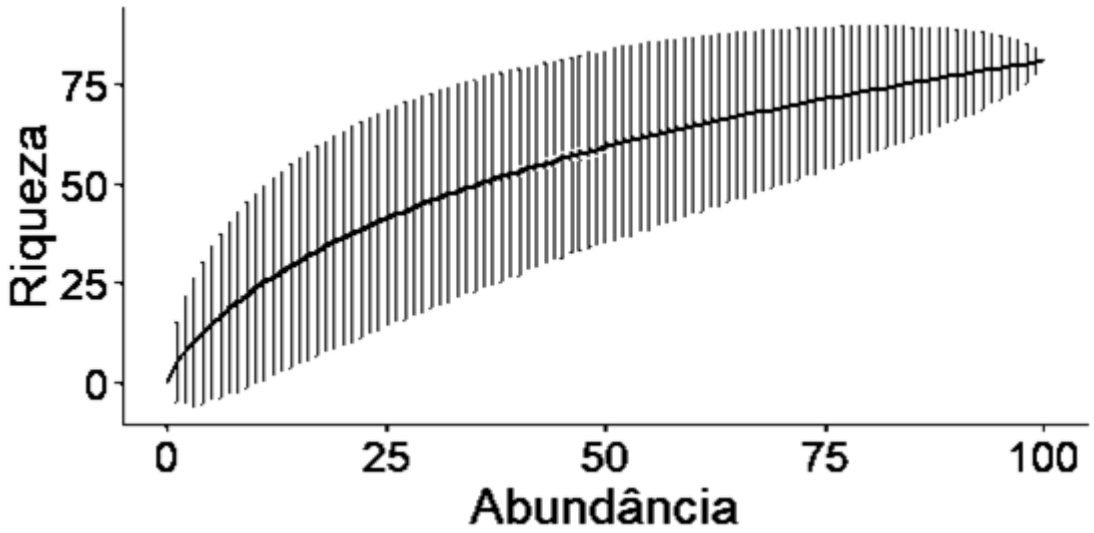

Figura 10. Curva de acumulação de espécies colectadas durante a época seca chuvosa na picada Dingue-Dingue

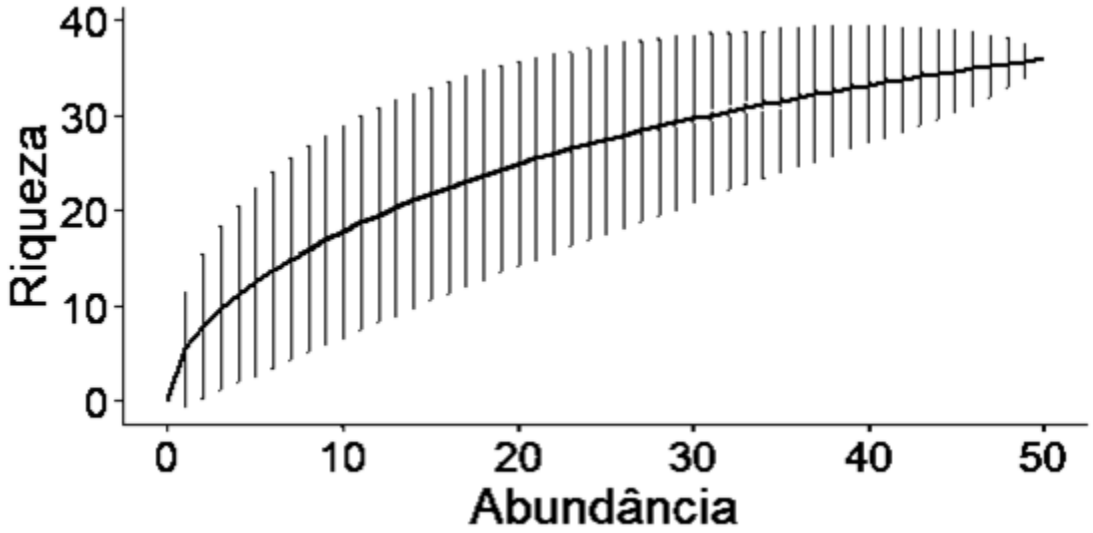

Figura 11. Curva de acumulação de espécies colectadas durante a época seca fria na picada Dingue-Dingue

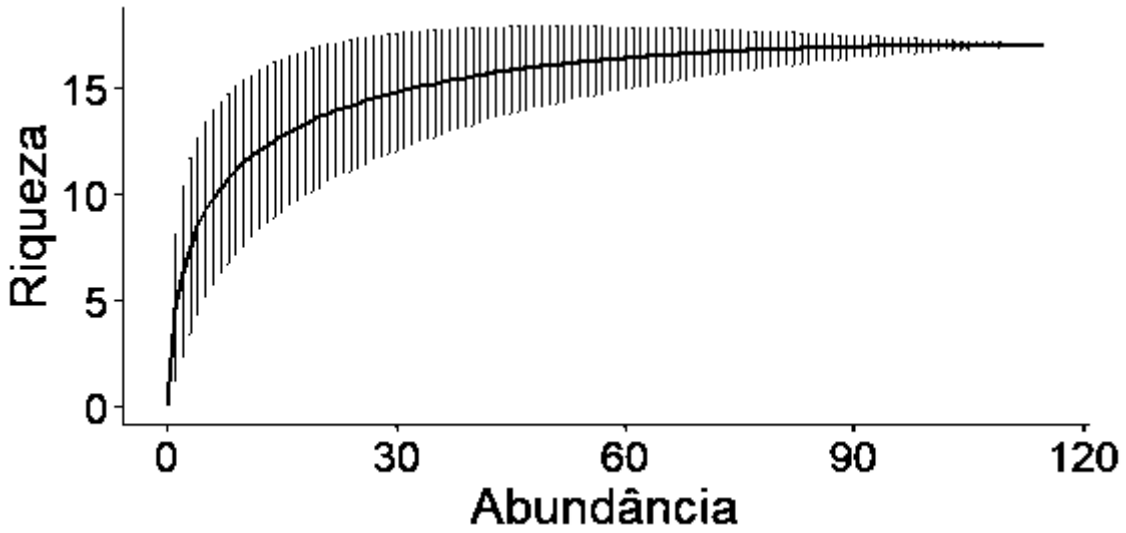

Figura 12. Curva de acumulação de espécies colectadas durante a época seca quente na picada Dingue-Dingue

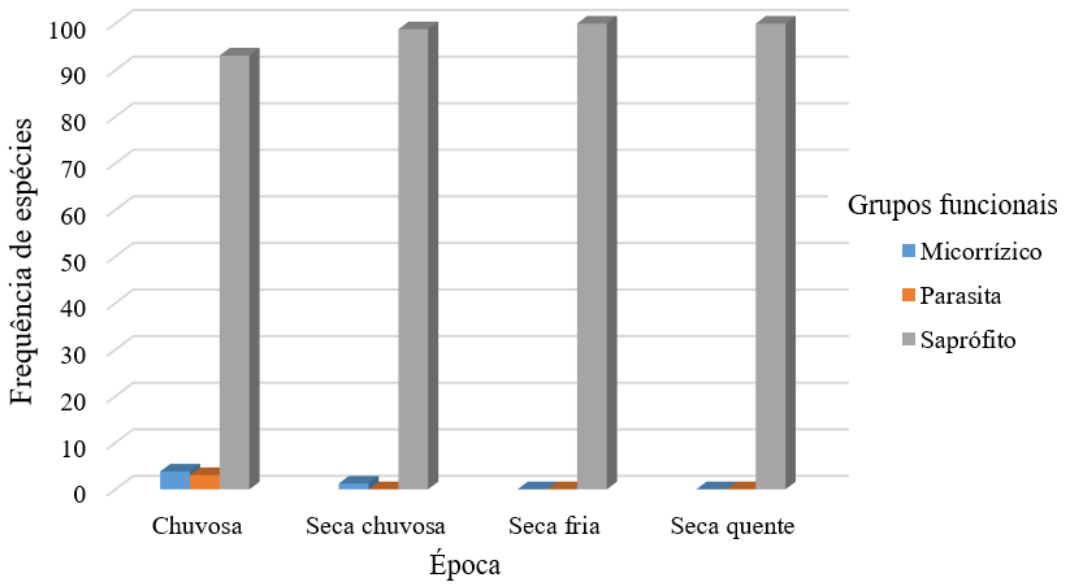

Figura 13. Variação da frequência dos grupos funcionais de macrofungos em diferentes épocas de colecta na picada Dingue-Dingue

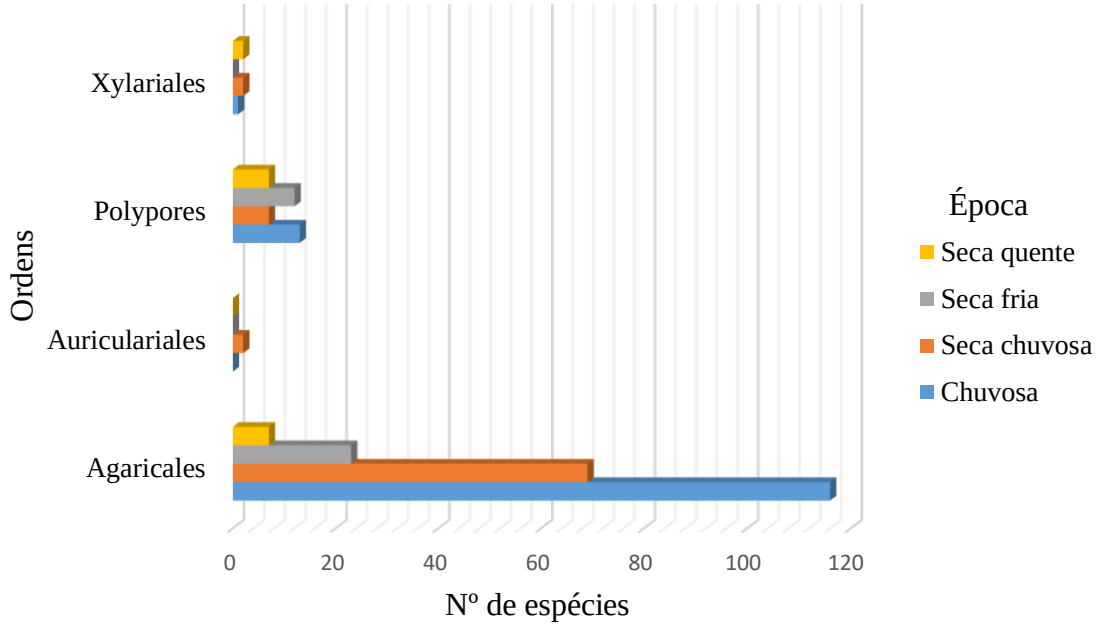

Figura 14. Principais ordens de macrofungos encontrados nas quatro épocas de colecta na picada Dingue-Dingue

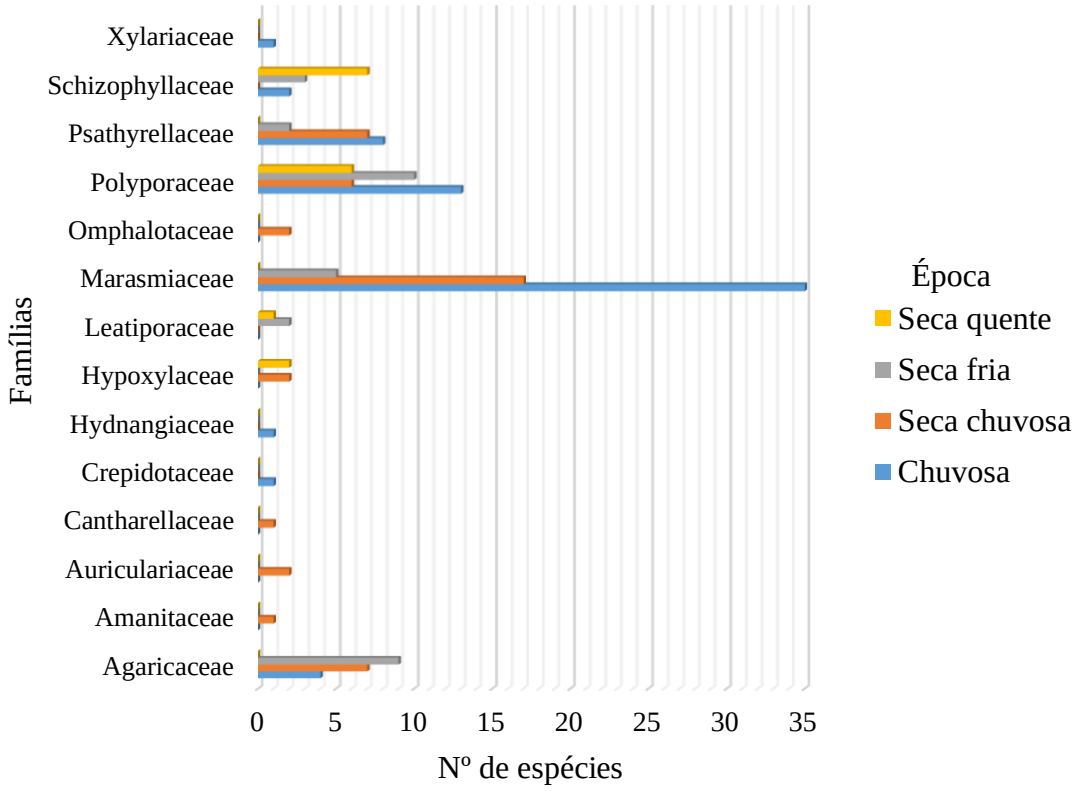

Figura 15. Principais famílias de macrofungos encontrados nas quatro épocas de colecta na picada Dingue-Dingue

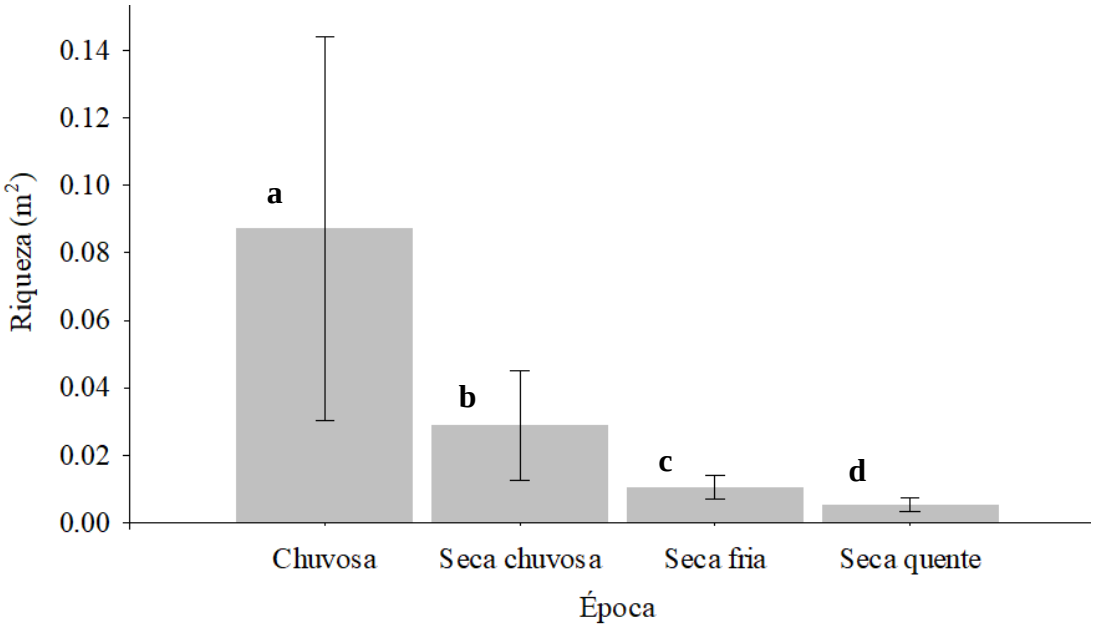

Figura 16. Variação do número de espécies de macrofungos por metros quadrados nas diferentes épocas de colecta de macrofungos na picada Dingue-Dingue

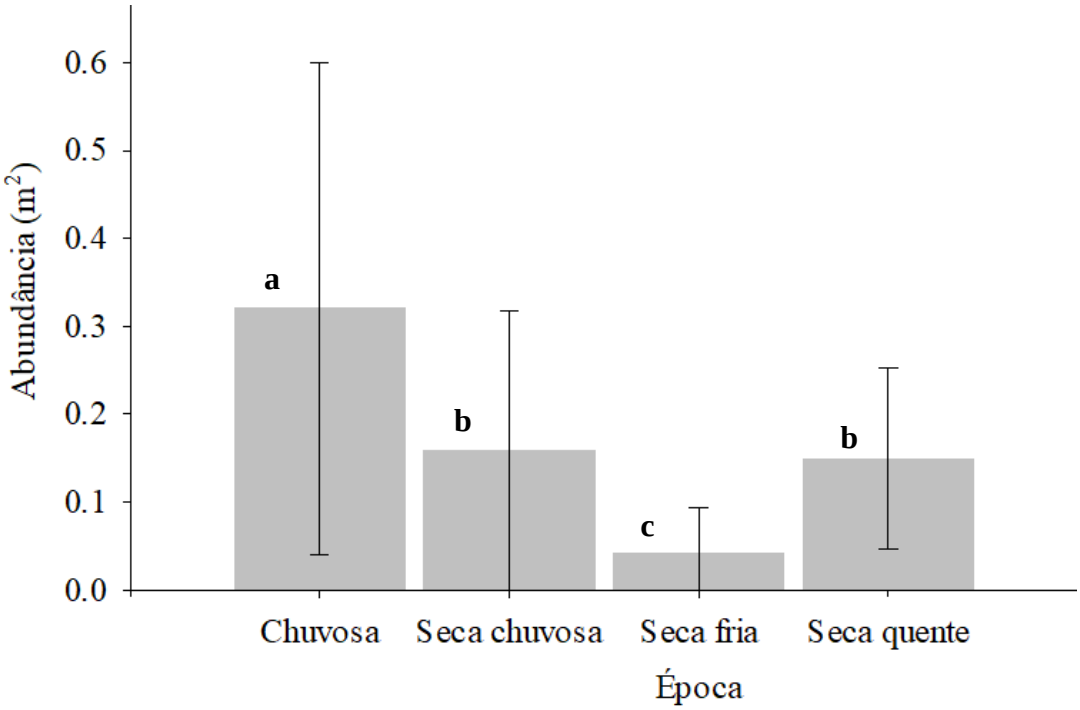

Figura 17. Variação do número de indivíduos de macrofungos por metros quadrados nas diferentes épocas de colecta de macrofungos na picada Dingue-Dingue

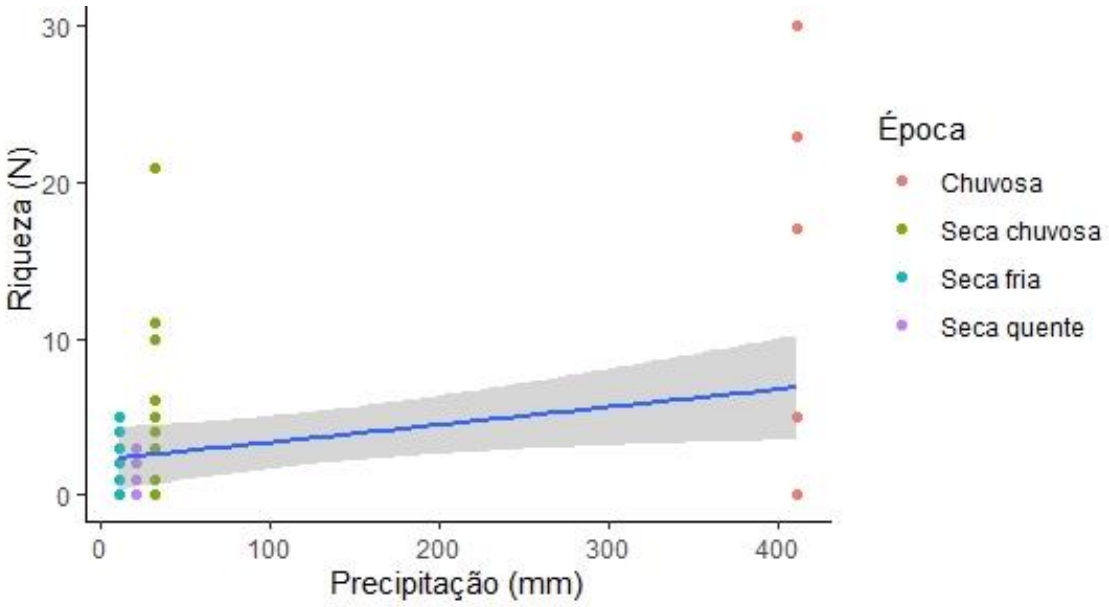

Figura 18. Variação da riqueza de espécies de macrofungos em função da precipitação média mensal na picada Dingue-Dingue

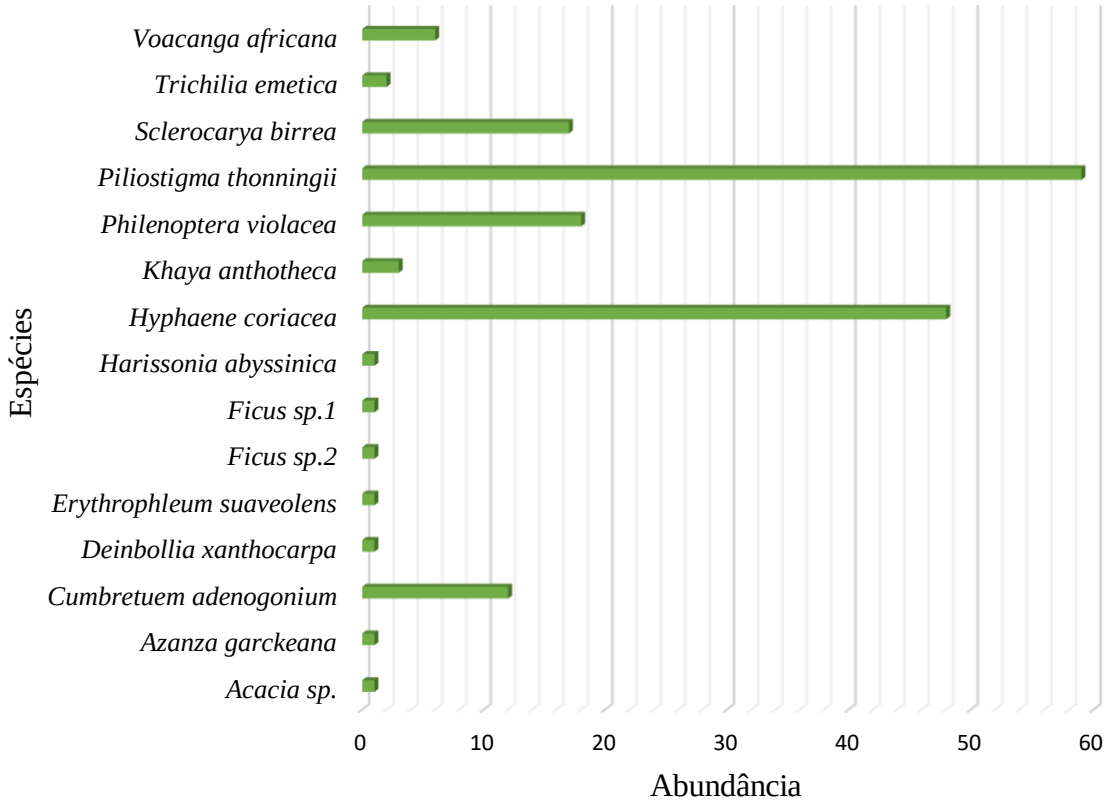

Figura 19. Riqueza e abundância de espécies arbóreas encontradas nas florestas de galeria na picada Dingue-Dingue

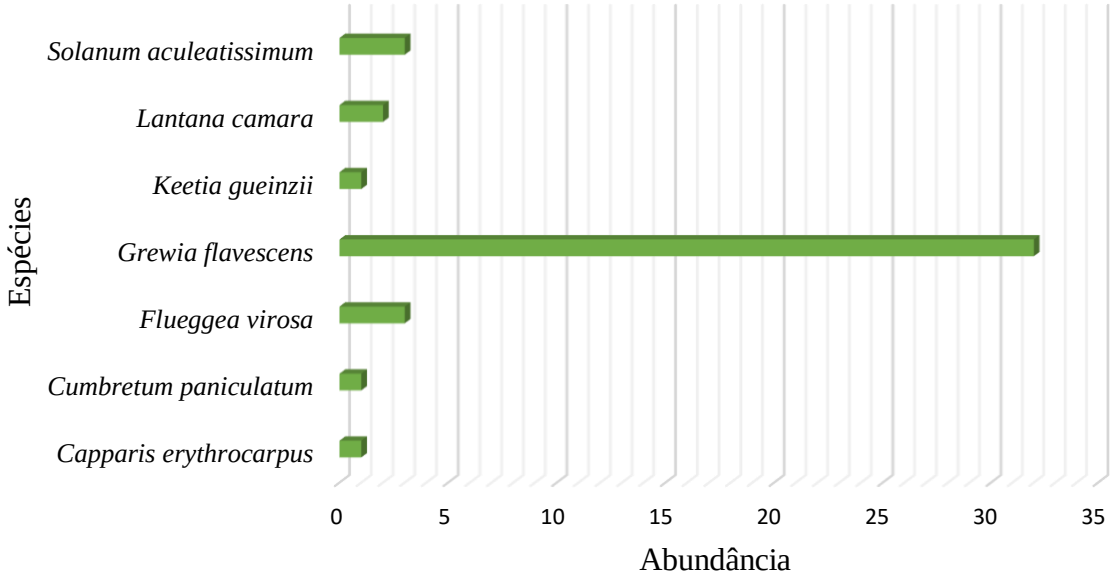

Figura 20. Riqueza e abundância de espécies arbustivas encontradas nas florestas de galeria na picada Dingue-Dingue

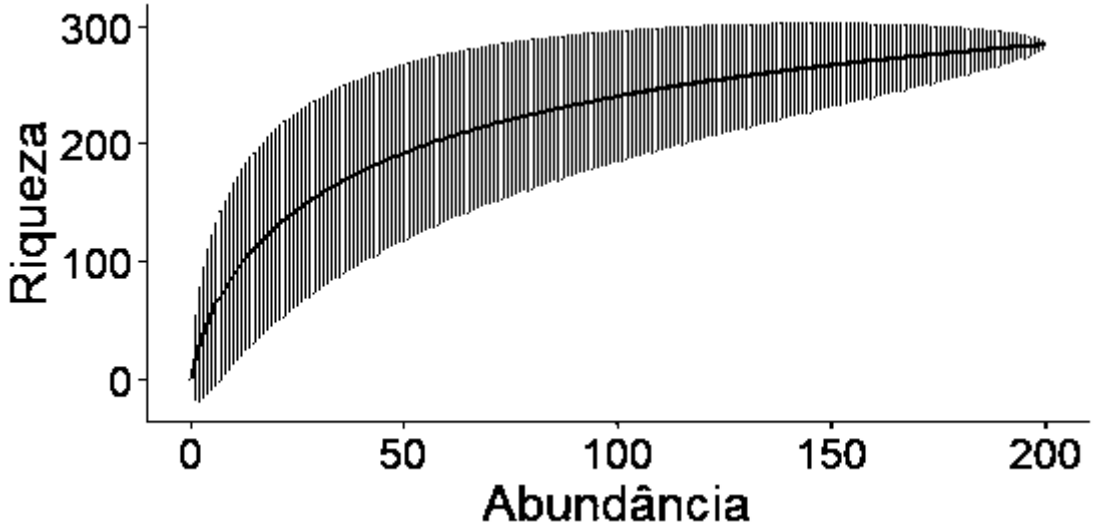

Figura 21. Curva de acumulação de espécies colectadas em todas épocas de pesquisa na Serra da Gorongosa

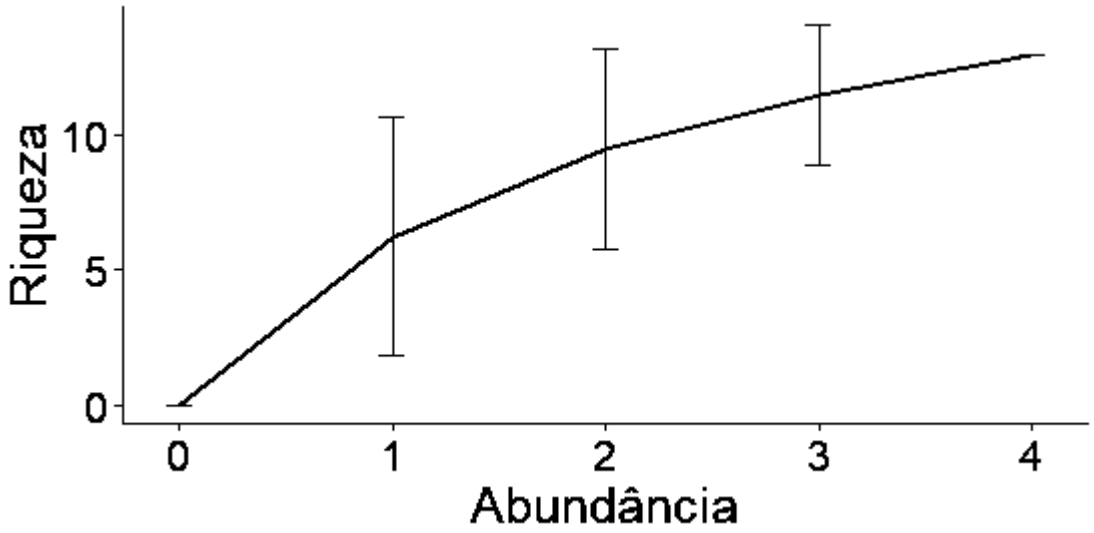

Figura 22. Curva de acumulação de espécies colectadas durante a época chuvosa na Serra da Gorongosa

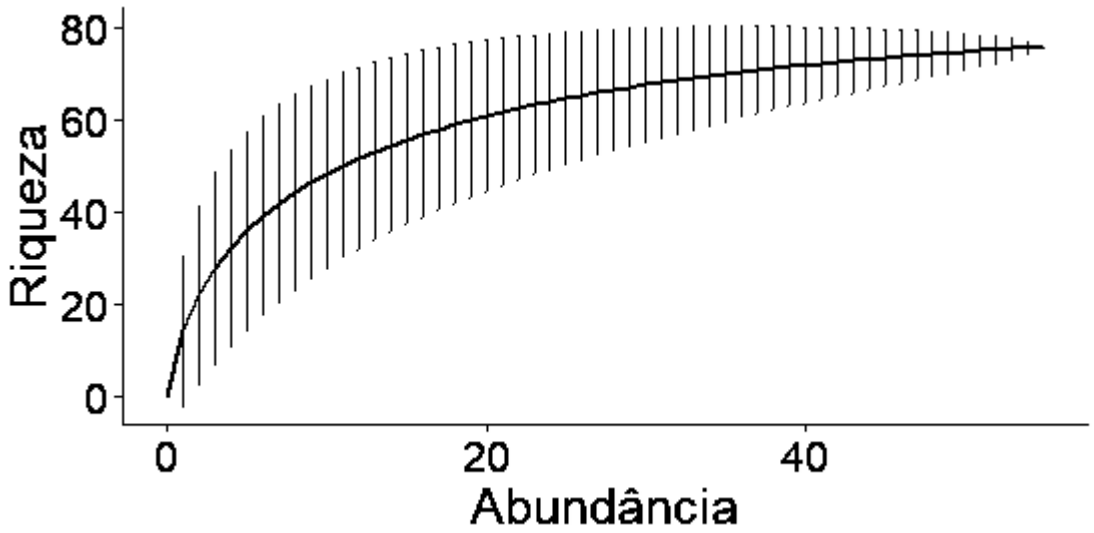

Figura 23. Curva de acumulação de espécies colectadas durante a época seca chuvosa na Serra da Gorongosa

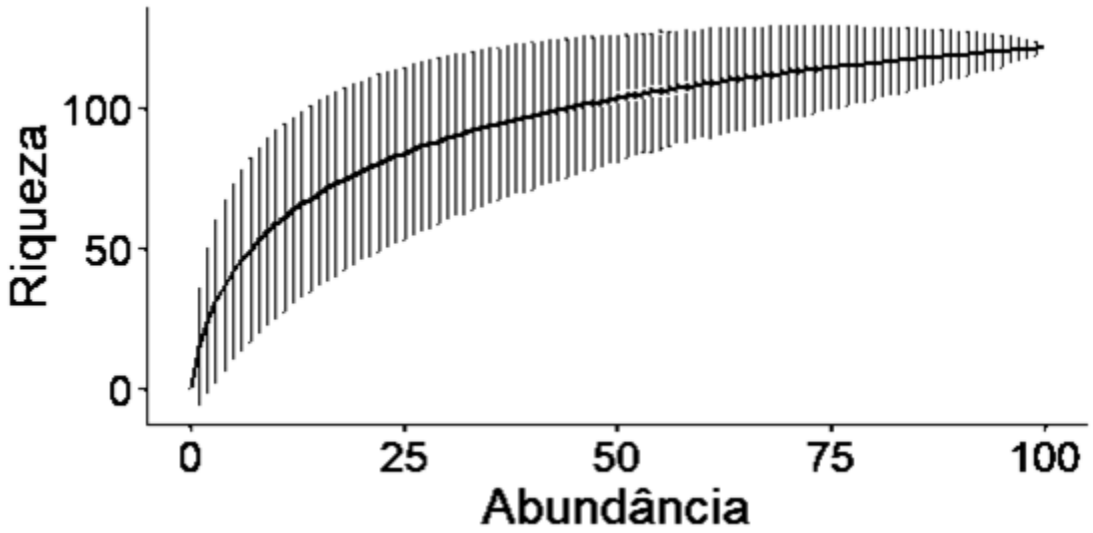

Figura 24. Curva de acumulação de espécies colectadas durante a época seca fria na Serra da Gorongosa

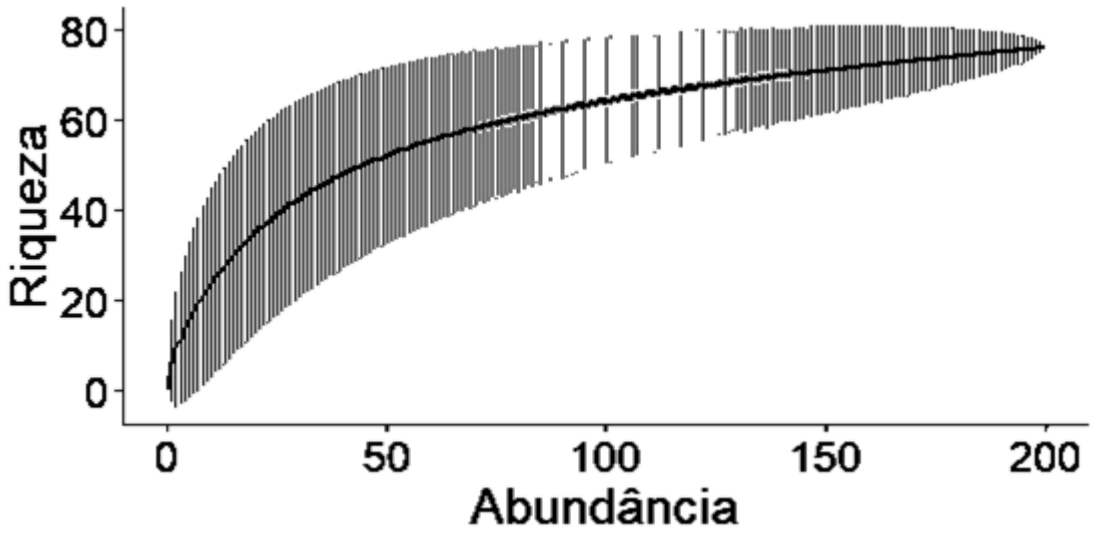

Figura 25. Curva de acumulação de espécies colectadas durante a época seca quente na Serra da Gorongosa

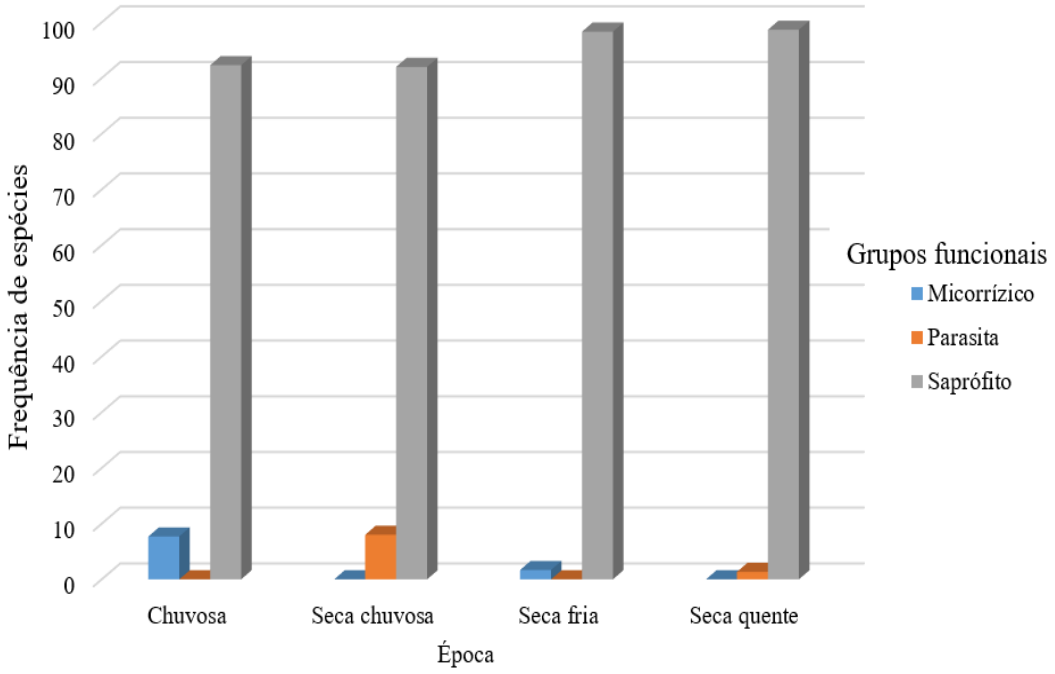

Figura 26. Variação dos grupos funcionais de macrofungos em diferentes épocas de colecta na Serra da Gorongosa

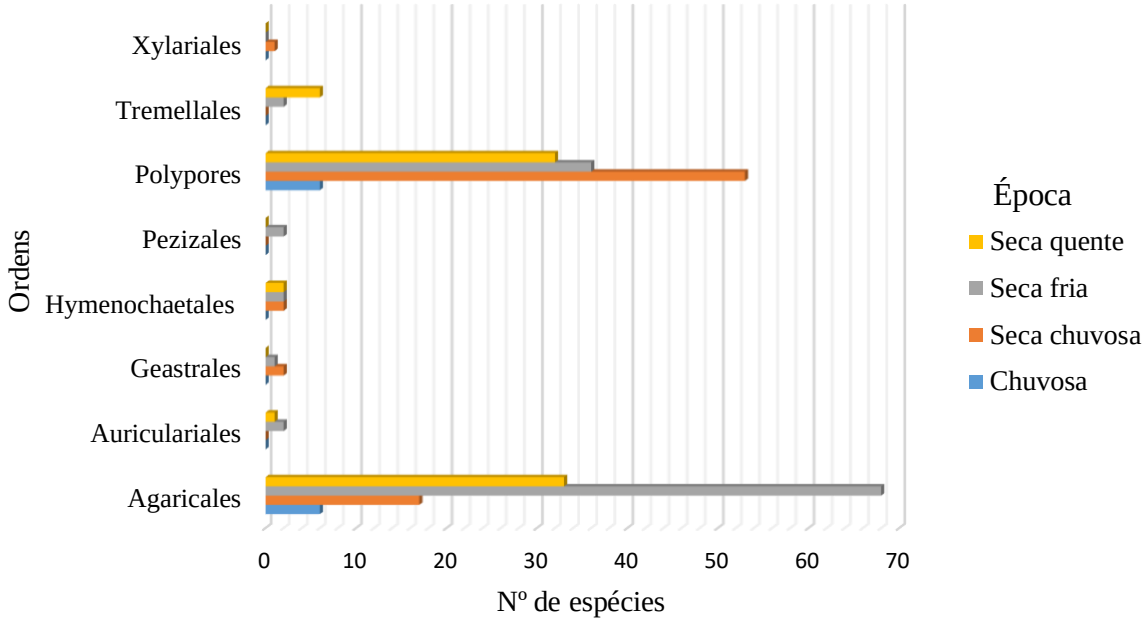

Figura 27. Principais ordens de macrofungos encontrados nas quatro épocas de colecta na Serra da Gorongosa

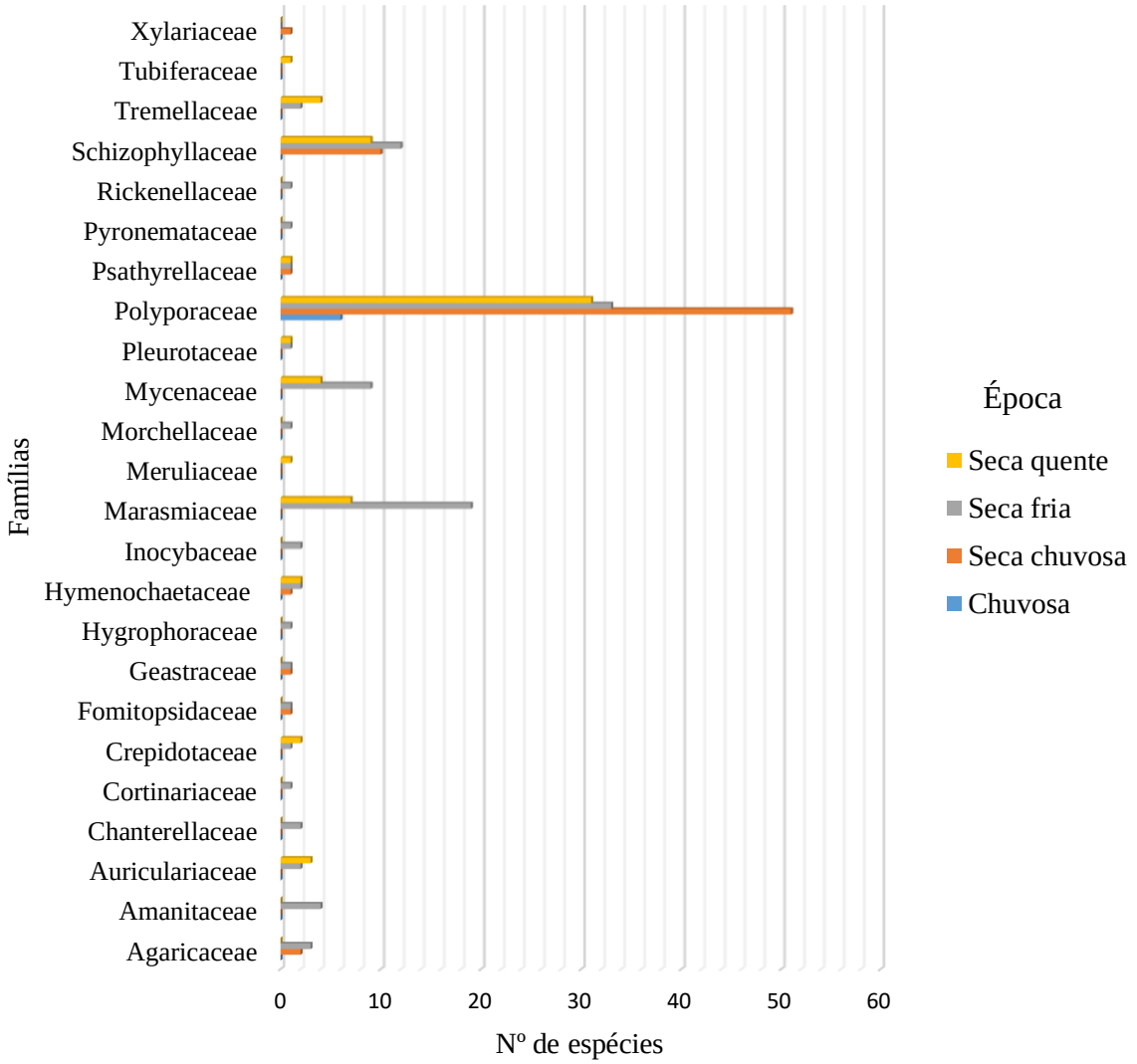

Figura 28. Principais famílias de macrofungos encontrados nas quatro épocas de colecta na Serra da Gorongosa

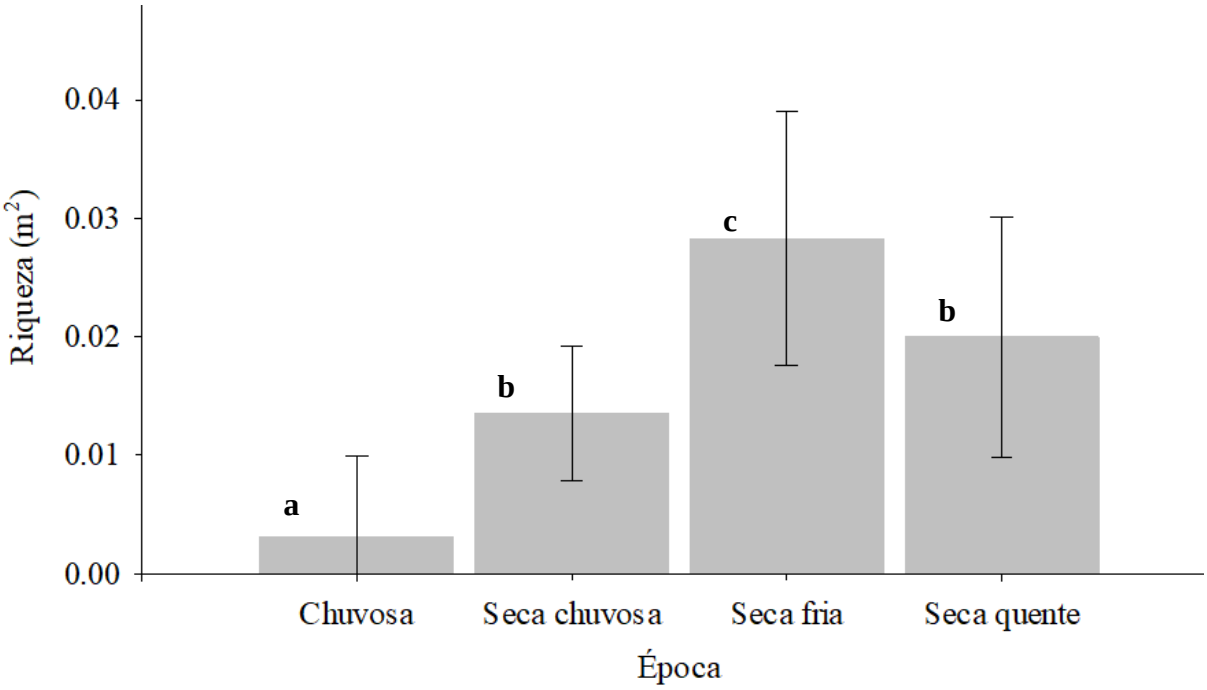

Figura 29. Variação do número de espécies de macrofungos por metros quadrados nas diferentes épocas de colecta de macrofungos na Serra da Gorongosa

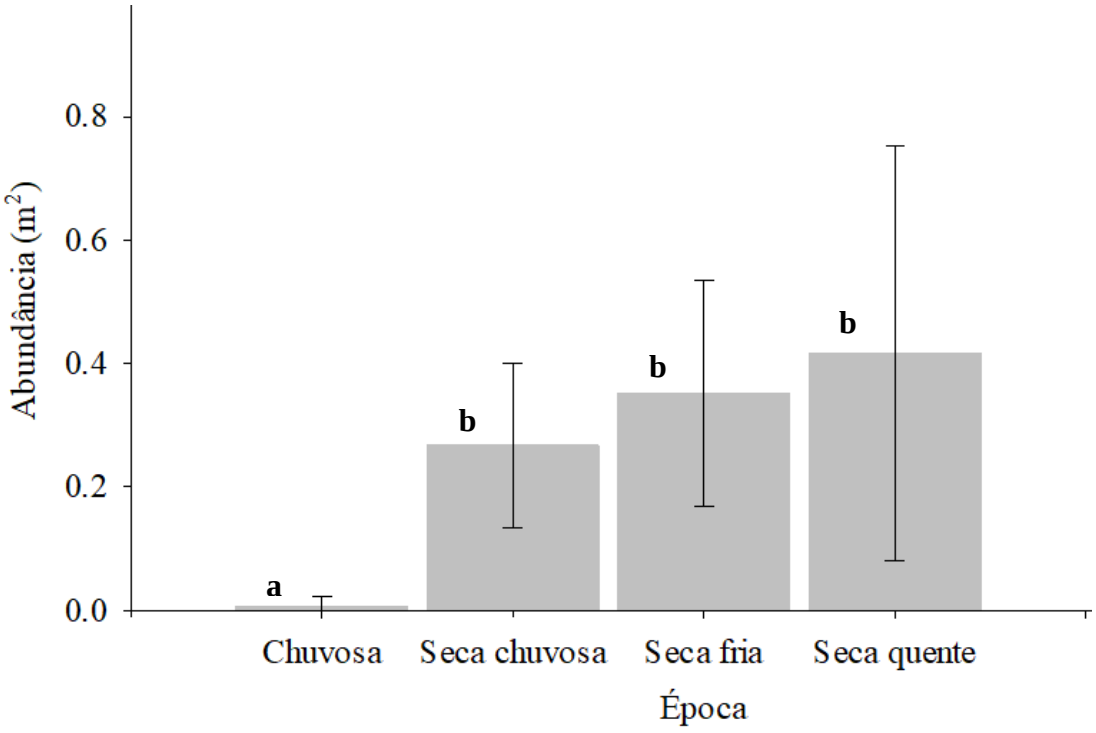

Figura 30. Variação do número de indivíduos macrofungos por metros quadrados nas diferentes épocas de colecta de macrofungos

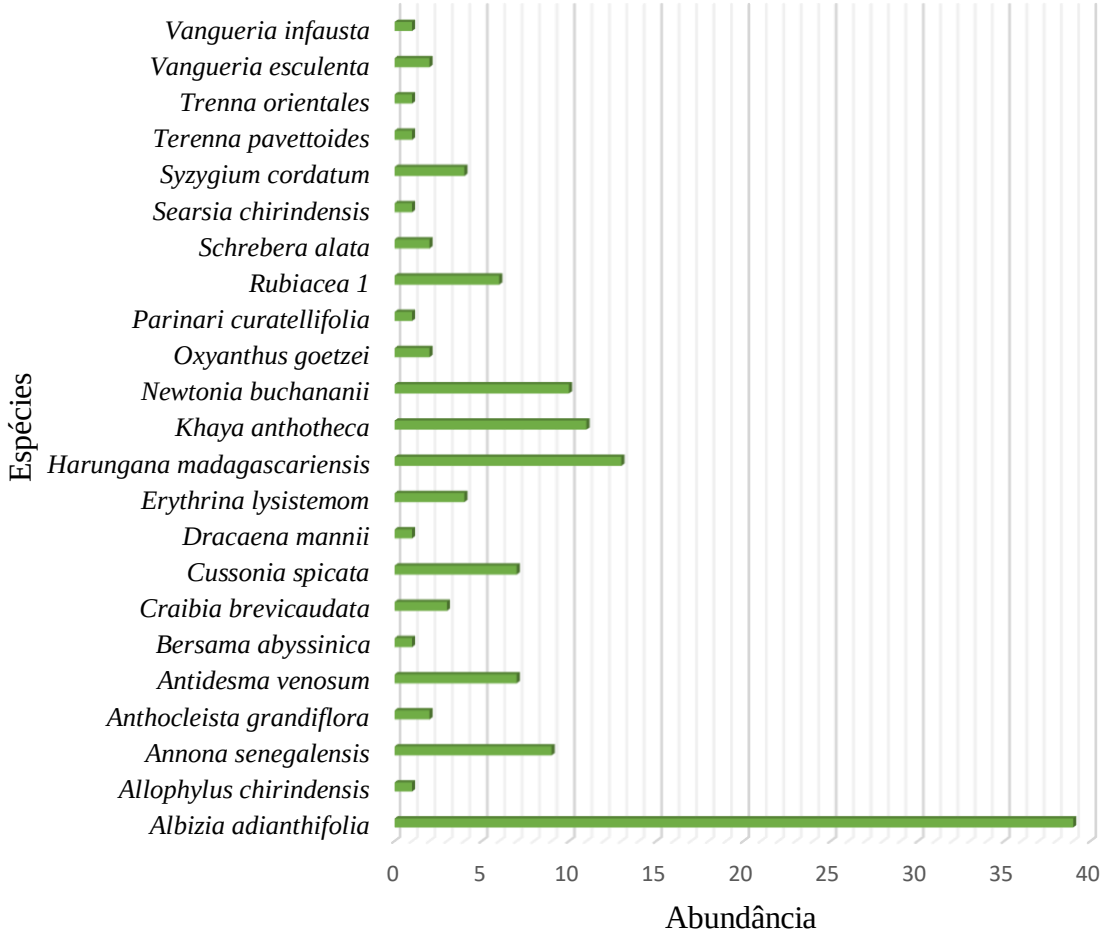

Figura 31. Riqueza e abundância de espécies arbóreas encontradas nas florestas ribeirinhas na Serra da Gorongosa

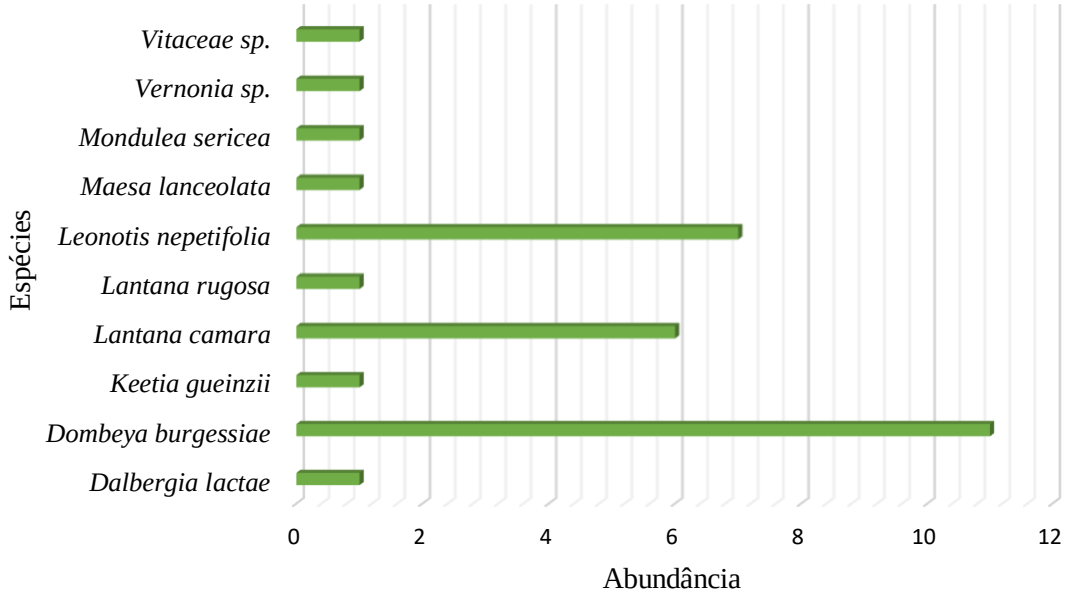

Figura 32. Riqueza e abundância de espécies arbustivas encontradas nas florestas ribeirinhas na Serra da Gorongosa

Referências bibliográficas

Ágreda, T.; Águeda, B.; Fernández-Toirán, M.; Vicente-Serrano, S. M. and Òlano, J. M. (2016). Long-term monitoring reveals a highly structured interspecific variability in climatic control of sporocarp production. *Agricultural and Forest Meteorology 223:39–47.* doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.03.015.

Ágreda, T.; Águeda, B.; Olano, J. M.; Vicente-Serrano, S. M. and Fernández-Toirán, M. (2015). Increased evapotranspiration demand in a Mediterranean climate might cause a decline in fungal yields under global warming. *Global Change Biology 21:3499–3510.*

Aime, M. C. and Brearley, F. Q. (2012). Tropical fungal diversity: Closing the gap between species estimates and species discovery. *Biodiversity and Conservation 21:2177–2180.*

Alberto, W.; Isaã, R. and Presse, I. (2019). Avaliação da composição nutricional de cogumelos da espécie *Amanita loosii* comercializado nos mercados informais da cidade de Nampula. *3º Congresso Nacional de Nutrição*. Universidade Lúrio:8.

Allkin, B. et al. (2017). State of the World's Plants. Royal Botanic Gardens. Kew. London.

Andrew, E.; Rosemary, K. T.; Maureen, T. E.; Thiobal, N. and Mathias, M. A. (2013). Diversity and distribution of macrofungi (mushrooms) in the Mount Cameroon Region. *Journal of Ecology and the Natural Environment **5**:318–334.*

Angelini, P.; Bistocchi, G.; Arcangeli, A.; Rubini, A. and Venanzoni, R. (2016a). Inventory, diversity and communities of macrofungi in the Collestrada forest (Umbria, central Italy). *Plant Biosystems 150:1096–1105.* doi.org/10.1080/11263504.2015.1108939.

Angelini, P.; Compagno, R.; Arcangeli, A.; Bistocchi, G.; Gargano, M. L.; Venanzoni, R. and Venturella, G. (2016b). Macrofungal diversity and ecology in two Mediterranean forest ecosystems. *Plant Biosystems 150:540–549.*

Arnolds, E. (1992). The role of macrofungi in environmental conservation. *Giornale botanico italiano: Official Journal of the Societa Botanica Italiana* 126:6, 779-795, doi:10.1080/11263509209428173.

Baldauf, S. L. and Palmer, J. D. (1993). Animals and fungi are each other's closest relatives: Congruent evidence from multiple proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 90:11558–11562*.

Baldrian, P. (2008). Ecology of saprotrophic basidiomycetes. *British Mycological Society Symposia Series 28:19–41*.

Baldrian, P. and Valášková, V. (2008). Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi. *Microbiology Reviews 32:501–521*.

Bauer, R.; Begerow, D.; Oberwinkler, F.; Piepenbring, M. and Berbee, M. L. (2001). Ustilaginomycetes. *Mycota Systematics and Evolution:27.*

Baumgartner, K.; Coetzee, M. P. A. and Hoffmeister, D. (2011). Secrets of the subterranean pathosystem of Armillaria. *Molecular Plant Pathology 12:515–534.*

Beare. M. H.; Hu, S.; Coleman, D. C. and Hendrix, P. F. (1997). Influences of mycelial fungi on soil aggregation and organic matter storage in conventional and no-tillage soils. *Applied Soil Ecology 5:211–219.*

Benny, G.; Humber, L. A. R. and Morton J. B. (2001). 6 Zygomycota : Zygomycetes. *Mycota Systematics and Evolution:114–146.*

Boa, E. (2008). *Wild edible fungi: A global overview of their use and importance to people.* Rome, Italy.

Boddy, L. (2016). Fungi, Ecosystems, and Global Change. *The Fungi.* doi.org/10.1016/B978-

0-12-382034-1.00011-6.

Bohrer, K. E.; Friese, C. F. and Amon, J. P. (2004). Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in differing wetland habitats. *Mycorrhiza 14:329–337.*

Bonfante, P. and Genre, A. (2010). Mechanisms underlying beneficial plant - Fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature Communications 1:1–11.*

Bothe, H.; Turnau, K. and Regvar, M. (2010). The potential role of arbuscular mycorrhizal fungi in protecting endangered plants and habitats. *Mycorrhiza 20:445–457.*

Bradford, M. A.; Berg, B.; Maynard, D. S.; Wieder, W. R. and Wood, S. A. (2016). Understanding the dominant controls on litter decomposition. *Journal of Ecology 104:229–238.*

Branch, W. R.; Guyton, J. A.; Schmitz, A.; Barej, M. F.; Naskrecki, P.; Farooq, H.; Verburgt, L. and Rödel, M. O. (2017). Description of a new flat gecko (Squamata: Gekkonidae: Afroedura) from Mount Gorongosa, Mozambique. *Zootaxa 4324:142–160.*

Callaway, R. M.; Cipollini, D.; Barto, K.; Thelen, G. C.; Hallett, S. G.; Prati, D.; Stinson, K. and Klironomos, J. (2008). Novel weapons: invasive plant suppresses fungal mutualists in america but not in its native europe. *Ecology 89:1043–1055.*

Chen, Y.; Svenning, J. C.; Wang, X.; Cao, R.; Yuan, Z. and Ye, Y. (2018a). Drivers of macrofungi community structure differ between soil and rotten-wood substrates in a temperate mountain forest in China. *Frontiers in Microbiology 9:1–9.*

Chen, Y.; Yuan, Z.; Bi, S.; Wang, X.; Ye, Y. and Svenning, J. C. (2018b). Macrofungal species distributions depend on habitat partitioning of topography, light, and vegetation in a temperate mountain forest. *Nature 8:1–13.*

Chidumayo, E. N. (2017). Long term impacts of crop cultivation and tree shading on *Piliostigma thonningii* (Schumach) Milne-Redhead population, growth and biomass production after charcoal production in central Zambia. *Global Ecology and Conservation 13*. doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00373

Choi, J. J. and Kim, S. H. (2017). A genome Tree of Life for the Fungi kingdom. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 114:9391–9396.*

Coetzee, M. P. A.; Bloomer, P.; Wingfield, M. J. and Wingfield, B. D. (2011). Paleogene radiation of a plant pathogenic mushroom. *PLoS ONE 6*

Correia, M.; Diabate, M.; Beavogui, P.; Guilavogui, K.; Lamanda, N. and de Foresta, H. (2010). Conserving forest tree diversity in Guinee Forestiere (Guinea, West Africa): the role of coffee-based agro forests. *Biodivers Conserv.* doi 10.1007/s10531-010-9800-6

Crockatt, M. E.; Campbell, A.; Allum, L.; Ainsworth, A. M. and Boddy, L. (2010). The rare oak polypore Piptoporus quercinus: Population structure, spore germination and growth. *Fungal Ecology 3:94–106.* doi.org/10.1016/j.funeco.2009.09.001.

Crous,. P. W.; Rong, I. H.; Wood, A.; Lee, S.; Glen, H.; Botha, W.; Slippers, B.; Beer, W. Z.; Wingfi, M. J and Hawksworth, D. L. (2006). How many species of fungi are there at the tip of Africa? *Studies in Mycology 55:13–33.*

Dashtban, M.; Schraft, H.; Syed, T. A. and Qin, W. (2010). Fungal biodegradation and enzymatic modification of lignin. *International Journal of Biochemistry and Molecular Biology 1:36–50.*

Daskin, J. H.; Stalmans, M. and Pringle, R. M. (2016). Ecological legacies of civil war: 35-year increase in savanna tree cover following wholesale large-mammal declines. *Journal of Ecology 104:79–89.*

Daynes, C. N.; Field, D. J.; Saleeba, J. A.; Cole, M. A. and McGee, P. A. (2013). Development and stabilisation of soil structure via interactions between organic matter, arbuscular mycorrhizal fungi and plant roots. *Soil Biology and Biochemistry 57:683–694.* doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.09.020.

De Carvalho, F.; de Souza, F. A.; Carrenho, R.; Moreira, F. M. S.; Jesus, E. C. and Fernandes, G. W. (2012). The mosaic of habitats in the high-altitude Brazilian rupestrian fields is a hotspot for arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Soil Ecology 52:9–19.*

De La Peña, E.; Echeverría, S. R.; Van Der Putten, W. H.; Freitas, H. and Moens, M. (2006). Mechanism of control of root-feeding nematodes by mycorrhizal fungi in the dune grass Ammophila arenaria. *New Phytologist 169:829–840.*

Doehlemann, G.; Okmen, B.; Zhu, W. and Sharon, A. (2017). Plant Pathogenic Fungi. *Microbiology spectrum 79:919.*

Dossa, E. L.; Fernandes, E. C. M.; Reid, W. S. and Ezui, K. (2008). Above- and belowground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting an open-grown and a shaded coffee plantation. *Agroforest Syst.* doi 10.1007/s10457-007-9075-4

Drake, J. E. et al. (2011). Increases in the flux of carbon belowground stimulate nitrogen uptake and sustain the long-term enhancement of forest productivity under elevated CO2. *Ecology Letters 14:349–357.*

Dresch, P.; D´Aguanno, M. N.; Rosam, K.; Grienke, U.; Rollinger, J. M. and Peintner, U. (2015). Fungal strain matters: colony growth and bioactivity of the European medicinal polypores Fomes fomentarius, Fomitopsis pinicola and Piptoporus betulinus. *Springer Open Journal 5:14.*

Feng, B. and Yang, Z. (2018). Plant Diversity Studies on diversity of higher fungi in Yunnan , southwestern China : *Plant Diversity 40:165–171*. doi.org/10.1016/j.pld.2018.07.001.

Filippova, N. and Bulyonkova, T. (2017). The communities of terrestrial macrofungi in different forest types in vicinities of Khanty-Mansiysk (middle taiga zone of West Siberia). *Biodiversity Data Journal* 5: e20732. doi: 10.3897/BDJ.5.e20732

Finlay, R. D. (2004). Mycorrhizal fungi and their multifunctional roles. *Mycologist 18:91–96.*

Fodor, E. (2011). Ecological niche of plant pathogens. *Annals of Forest Research 54:3–21.*

Fosberg, F. R. and Sachet, M. (1965). *Manual for Tropical Herbaria.* Regnum Vegetabile Utrecht vol. 39. Netherlands

Gasse, F. (2006). Climate and hydrological changes in tropical Africa during the past million years. *Comptes Rendus - Palevol 5:35–43.*

Gates, G. M.; Mohammed, C.; Wardlaw, T.; Ratkowsky, D. A. and Davidson, N. J. (2011). The ecology and diversity of wood-inhabiting macrofungi in a native Eucalyptus obliqua forest of southern Tasmania, Australia. *Fungal Ecology 4:56–67.* doi.org/10.1016/j.funeco.2010.07.005.

Gäumann, E. A. (1928). Comparative morphology of Fungi. *Agricultural and botanical sciencies, United States of America.*

Gaya, E. et al. (2012). Implementing a cumulative supermatrix approach for a comprehensive phylogenetic study of the Teloschistales (Pezizomycotina, Ascomycota). *Molecular Phylogenetics and Evolution 63:374–387.* doi.org/10.1016/j.ympev.2012.01.012.

Gilbert, G. S.; Ferrer, A. and Carranza, J. (2002). Polypore fungal diversity and host density in a moist tropical forest. *Biodiversity and Conservation 11:947–957.*

Gómez-Hernández, M.; Williams-Linera, G.; Guevara, R. and Lodge, D. J. (2012). Patterns of macromycete community assemblage along an elevation gradient: Options for fungal gradient and metacommunity analyse. *Biodiversity and Conservation 21:2247–2268*.

Guo, Y. et al. (2017). Topographic species–habitat associations of tree species in a heterogeneous tropical karst seasonal rain forest, China. *Journal of Plant Ecology 10:450–460.*

Harkonen, M.; Niemela, T.; Mbindo, K.; Kotiranta, H. and Piearce, G. (2015). *Zambian mushrooms and mycology*. Helsinki. Finland.

Hawksworth, D. L. (1991). The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation. *Mycological Research 95:641–655.* doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80810-1.

Hawksworth, D. L. (2001). The magnitude of fungal diversity: the 1±5 million species estimate revisited. *Mycol*. *Res*. 105 (12) 1422±1432. doi: 10.1017}S0953756201004725

Hawksworth, D. L. and Lücking, R. (2017). Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species. *Microbiology spectrum 5 (4).* doi:10.1128/microbiolspec.FUNK-0052-2016.

He, M.; Chen, J.; Zhou, J.; Ratchadawan, C. and Kevin, D. (2017). Tropic origins , a dispersal model for saprotrophic mushrooms in *Agaricus* descriptions of sixteen new species. *Nature 7:1–31*.

Hibbett, D. S.; Blackwell, M.; James, T. Y.; Spatafora, J. W.; Taylor, J. W. and Vilgalys, R. (2018). Phylogenetic taxon definitions for Fungi, Dikarya, Ascomycota and Basidiomycota. *IMA Fungus 9:291–298.*

Hibbett, D. S. et al. (2007). A higher-level phylogenetic classification of the Fungi.

Mycological Research 111:509–547.

Hillebrand, H. (2004). On the Generality of the Latitudinal Diversity Gradient. *The American Naturalist 163:19.*

Hiscox, J.; Savoury, M.; Müller, C. T.; Lindahl, B. D.; Rogers, H. J. and Boddy, L. (2015). Priority effects during fungal community establishment in beech wood. *ISME Journal 9:2246–2260.*

Hittinger, C. T. et al. (2015). Genomics and the making of yeast biodiversity. *Genomes and evolution 35:100–109.*

Hobbs, R. J. et al. (2006). Novel ecosystems: Theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global Ecology and Biogeography 15:1–7.*

Hodge, A. (2001). Arbuscular mycorrhizal fungi influence decomposition of, but not plant nutrient capture from, glycine patches in soil. *New Phytologist 151:725–734.*

Hou, W.; Lian, B.; Dong, H.; Jiang, H. and Wu, X. (2012). Distinguishing ectomycorrhizal and saprophytic fungi using carbon and nitrogen isotopic compositions. *Geoscience Frontiers 3:351–356.* doi.org/10.1016/j.gsf.2011.12.005.

James, T. Y. et al. (2006). Reconstructing the early evolution of Fungi using a six-gene phylogeny. *Nature 443:818–822.*

Jeffries, P.; Gianinazzi, S.; Perotto, S.; Turnau, K. and Barea, J. M. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils 37:1–16.*

Jones, E. B. G. and Choeyklin, R. (2007). Ecology of Marine and Freshwater Basidiomycetes. *Ecology of Saprotrophic Basidiomycetes:301–324.*

Junninen, K. and Komonen, A. (2011). Conservation ecology of boreal polypores: A review. *Biological Conservation 144:11–20.* doi.org/10.1016/j.biocon.2010.07.010.

Karakehian, J. M.; Quijada, L.; Mitchell, J. K.; Iturriaga, T.; Ryvarden, L.; Miller, A. N.; Radaubaugh, D.; Healy, R.; Smith, M. E. and Pfister, D. H. (2018). A survey of fungi in Gorongosa National Park , Mozambique.

Karavani, A.; De Cáceres, M.; Martínez de Aragón, J.; Bonet, J. A. and de-Miguel, S. (2018). Effect of climatic and soil moisture conditions on mushroom productivity and related ecosystem services in Mediterranean pine stands facing climate change. *Agricultural and Forest Meteorology 248:432–440.* doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.024.

Katovai, E.; Katovai, D. D.; Edwards, W. and Laurance, W. F. (2015). Forest structure, plant diversity and local endemism in a highly varied New Guinea landscape. *Tropical Conservation Science 8:284–300.*

Klopper, R. R.; Gautier, L.; Chatelain, C.; Smith, G. F.; Spichiger, R.; Klopper, R, R.; Gautier, L. and Smith, F. (2014). Floristics of the Angiosperm Flora of Sub-Saharan Africa : An Analysis of the African Plant Checklist and Database conservation flora of Sub-Saharan the African Plant Checklist and Database of the angiosperm. *Biodiversity and Conservation 56:201–208.*

Knežević, A.; Milovanović, I.; Stajić, M.; Lončar, N.; Brčeski, I.; Vukojević, J. and Ćilerdžić, J. (2013). Lignin degradation by selected fungal species. *Bioresource Technology 138:117–123.*

Koch, R. A.; Wilson, A. W.; Séné, O.; Henkel, T. W. and Aime, M. C. (2017). Resolved phylogeny and biogeography of the root pathogen Armillaria and its gasteroid relative, Guyanagaster. *BMC Evolutionary Biology 17:1–16.* doi.org/10.1186/s12862-017-0877-3.

Kolby, J. E. (2014). Presence of the amphibian chytrid fungus Batrachochytrium dendrobatidis in native amphibians exported from Madagascar. *PLoS ONE 9.*

Krishna, M. P. and Mohan, M. (2017). Litter decomposition in forest ecosystems: a review. Energy. *Ecology and Environment 2:236–249.*

Kubartová, A.; Ranger, J.; Berthelin, J. and Beguiristain, T. (2009). Diversity and decomposing ability of saprophytic fungi from temperate forest litter. *Microbial Ecology 58:98–107.*

Kurtzman, C. P. and Sugiyama, J. (2015). Saccharomycotina and taphrinomycotina: The yeasts and yeastlike fungi of the ascomycota. *The Mycota: Systematics and Evolution:3–33.*

Kusangaya, S.; Warburton, M. L.; Archer van Garderen, E. and Jewitt, G. P. W. (2014). Impacts of climate change on water resources in southern Africa: A review. *Physics and Chemistry of the Earth 67–69:47–54.* doi.org/10.1016/j.pce.2013.09.014.

Kutszegi, G.; Siller, I.; Dima, B.; Takács, K.; Merényi, Z.; Varga, T.; Turcsányi, G.; Bidló, A. and Ódor, P. (2015). Drivers of macrofungal species composition in temperate forests, West Hungary: Functional groups compared. *Fungal Ecology 17:69–83.*

Laganà, A.; Loppi, S. and De Dominicis, V. (1999). Relationship between environmental factors and the proportions of fungal trophic groups in forest ecosystems of the central Mediterranean area. *Forest Ecology and Management 124:145–151.*

Latha, K. P. and Manimohan, P. (2017). *Inocybes of Kerala.* Spore Print Books, Calicut. India

Lepère, C.; Domaizon, I.; Humbert, J. F.; Jardillier, L.; Hugoni, M. and Debroas, D. (2019). Diversity, spatial distribution and activity of fungi in freshwater ecosystems. *PeerJ.*

Linder, H. P. (2001). Plant diversity and endemism in sub-Saharan tropical Africa. *Journal of Biogeography 28:169–182.*

Linder, H. P. (2014). The evolution of African plant diversity. *Frontiers in Ecology and Evolution **2**:1–14.* doi: 10.3389/fevo.2014.00038.

Liu, Y. J.; Hodson, M. C. and Hall, B. D. (2006). Loss of the flagellum happened only once in the fungal lineage: Phylogenetic structure of Kingdom Fungi inferred from RNA polymerase II subunit genes. *BMC Evolutionary Biology 6:1–13.*

López-Quintero, C. A.; Straatsma, G.; Franco-Molano, A. E. and Boekhout, T. (2012). Macrofungal diversity in Colombian Amazon forests varies with regions and regimes of disturbance. *Biodiversity and Conservation 21:2221–2243.*

Louppe, D; Oteng-Amoako, A.A and Brink, M. (2008). *Plant resources of tropical Africa.* Timbers 1. Wageningen, Netherlands

Madadi, M. and Abbas, A. (2017). Lignin Degradation by Fungal Pretreatment: A Review. *Journal of Plant Pathology & Microbiology 08.*

Martinez, S.; Nakasone, K. K. and Bettucci, L. (2019). Diversity of wood-inhabiting Agaricomycotina on wood of different size classes in riparian forests of Uruguay. *Mycoscience 60:156–164.*

Marzoli, A. (2007). Inventário Florestal Nacional. Maputo, Moçambique.

McLennan, M. R. and Plumptre, A. J. (2012). Protected apes, unprotected forest: Composition, structure and diversity of riverine forest fragments and their conservation value in Uganda. *Tropical Conservation Science 5:79–103.*

McMullan-Fisher, S. J. M.; Kirkpatrick, J. B.; May, T. W. and Pharo, E. J. (2010). Sustitutos de macrohongos y musgos en la planificación de reservas. *Conservation Biology 24:730–736.*

Miller, R. M.; Jastrow, J. D. and Reinhardt, D. R. (1995). External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. *Oecologia 103:17–23.*

Mo, Y.; Wang, Y.; Yang, R.; Zheng, J.; Liu, C.; Li, H.; Ma, J.; Zhang, Y.; Wei, C. and Zhang, X. (2016). Regulation of plant growth, photosynthesis, antioxidation and osmosis by an arbuscular mycorrhizal fungus in watermelon seedlings under well-watered and drought conditions. *Frontiers in Plant Science 7:1–15.*

Moeslund, J. E.; Arge, L.; Bocher, P. K. Dalgaard, T. and Svenning, J. C. (2013). Topography as a driver of local terrestrial vascular plant diversity patterns. *Nordic Journal of Botany 31:129–144.*

Mueller, G. M. et al. (2007). Global diversity and distribution of macrofungi. *Biodiversity and Conservation 16:37–48.*

Müller, T.; Mapaura, A.; Wursten, B.; Chapano, C.; Ballings, P. and Wild, R. (2012). Vegetation survey of mount Gorongosa. Biodiversity Foundation for Africa, Zimbabwe.

Naranjo-Ortiz, M. A. and Gabaldón, T. (2019). Fungal evolution: major ecological adaptations and evolutionary transitions. *Biological Reviews 94:1443–1476.*

Naskrecki, P. et al. (2018). A report from the biodiversity survey of selected sites in the Chimanimani National Reserve buffer zone. Chimanimani, Mozambique

Nicolás, C.; Almeida, J. P.; Ellström, M.; Bahr, A.; Bone, S. E.; Rosenstock, N. P.; Bargar, J. R.; Tunlid, A.; Persson, P. and Wallander, H. (2017). Chemical changes in organic matter after fungal colonization in a nitrogen fertilized and unfertilized Norway spruce forest. *Plant and Soil 419:113–126.*

O'Hanlon, R. and Harrington, T. J. (2012). Macrofungal diversity and ecology in four Irish forest types. *Fungal Ecology 5:499–508.* doi.org/10.1016/j.funeco.2011.12.008.

Oliveira, R. S.; Vosátka, M.; Dodd, J. C. and Castro, P. M. L. (2005). Studies on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and the efficacy of two native isolates in a highly alkaline anthropogenic sediment. *Mycorrhiza*. doi 10.1007/s00572-005-0010-0.

Osmundson, T. W. et al. (2013). Filling Gaps in Biodiversity Knowledge for Macrofungi: Contributions and Assessment of an Herbarium Collection DNA Barcode Sequencing Project. *PLoS ONE.* doi:10.1371/journal.pone.0062419.

Osono, T. (2005). Colonization and succession of fungi during decomposition of Swida controversa leaf litter. *Mycologia 97:589–597.*

Osono, T. (2007). Ecology of ligninolytic fungi associated with leaf litter decomposition. *Ecological Research 22:955–974.*

Osono, T. and Takeda, H. (2006). Fungal decomposition of Abies needle and Betula leaf litter. *Mycologia 98:172–179.*

Park, M. S.; Cho, H. J.; Kim, N. K.; Park, J. Y.; Lee, H.; Park, K. H.; Kim, M.; Kim, J.; Kim, C. and Lim, Y. W. (2017). Mycobiology Ten New Recorded Species of Macrofungi on Ulleung Island , Korea. *Mycobiology 45:286–296.*

Park, R. F. and Wellings, C. R. (2012). Somatic Hybridization in the Uredinales. *Annual Review of Phytopathology 50:219–239.*

Paz, A. et al. (2017). A ribosomal DNA-based phylogeny and revised systematics of European ' deer truffles '. *Persoonia 38:197–239.*

Pendleton, R. L. (2000). Pre-inoculation by an arbuscular mycorrhizal fungus enhances male

reproductive output of *Cucurbita foetidissima*. *International Journal of Plant Sciences 161:683–689.*

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

Pereira, J. A. P.; Vieira, I. J. C.; Freitas, M. S. M.; Prins, C. L.; Martins, M. A. and Rodrigues, R. (2016). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on *Capsicum* spp. *Journal of Agricultural Science 154:828–849.*

Philip, L. J.; Posluszny, U. and Klironomos, J. N. (2001). The influence of mycorrhizal colonization on the vegetative growth and sexual reproductive potential of *Lythrum salicaria* L. *Canadian Journal of Botany 79:381–388.*

Piepenbring, M. (2007). Inventoring the fungi of Panama. *Biodiversity Conservation:73–84.*

Piepenbring, M. (2015). *Introduction to Mycology in the Tropics.* United States of America.

Pilz, D. and Molin, R. (1996). Mannaging forest ecosystems to conserve fungus diversity and sustain wild mushroom harvests.

Pinna, S.; Gévry, M. F.; Côté, M. and Sirois, L. (2010). Factors influencing fructification phenology of edible mushrooms in a boreal mixed forest of Eastern Canada. *Forest Ecology and Management 260:294–301*.

Polis, G. A. and Strong, D. R. (1996). Food web complexity and community dynamics. *American Naturalist 147:813–846.*

Pringle, A.; Bever, J. D.; Gardes, M.; Parrent, J. L.; Rillig, M. C. and Klironomos, J. N. (2009). Mycorrhizal Symbioses and Plant Invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and*

Systematics 40:699–715.

Priyamvada, H.; Akila, M.; Singh, R. K.; Ravikrishna, R.; Verma, R. S.; Philip, L.; Marathe, R. R.; Sahu, L. K.; Sudheer, K. P. and Gunthe, S. S. (2017). Terrestrial macrofungal diversity from the tropical dry evergreen biome of Southern India and its potential role in aerobiology. *PLoS ONE 12:1–21*.

Rajala, T.; Peltoniemi, M.; Pennanen, T. and Mäkipää, R. (2012). Fungal community dynamics in relation to substrate quality of decaying Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) logs in boreal forests. *Microbiology Ecology 81:494–505*.

Rajala, T.; Tuomivirta, T.; Pennanen, T. and Mäkipää, R. (2015). Habitat models of wood-inhabiting fungi along a decay gradient of Norway spruce logs. *Fungal Ecology* 18 (2015) 48e55. doi.org/10.1016/j.funeco.2015.08.007.

Richards, T. A.; Leonard, G. U. Y. and Wideman, J. G. (2017). What Defines the " Kingdom " Fungi ? *Microbiology spectrum 5:1–21*.

Richardson, M. (2009). The ecology of the zygomycetes and its impact on environmental exposure. *Clinical Microbiology and Infection 15:2–9.*

Rillig, M. C. and Mummey, D. L. (2006). Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist 171:41–53.*

Ritz, K. (2004). Fungi. *Encyclopedia of Soils in the Environment 4:110–119.*

Rizzo, D. M. and Harrington, T. (1993). Delineation and biology of clones of *Armillaria ostoyae*, *A. germina* and *A. Calvescens. Mycologia 85:164–174.*

Robledo, G. L. and Renison, D. (2010). Wood-decaying polypores in the mountains of central Argentina in relation to Polylepis forest structure and altitude. *Fungal ecology* 3 (2010)

178 – 184. doi:10.1016/j.funeco.2009.10.003

Rodríguez-Echeverría, S.; Teixeira, H.; Correia, M.; Timóteo, S.; Heleno, R.; Öpik, M. and Moora, M. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi communities from tropical Africa reveal strong ecological structure. *New Phytologist 213:380–390*.

Rudolf, K.; Morschhauser, T. and Pál-Fám, F. (2012). Macrofungal diversity in disturbed vegetation types in North-East Hungary. *Central European Journal of Biology.* doi: 10.2478/s11535-012-0050-3.

Rudolph, S.; Maciá-Vicente, J. G.; Lotz-Winter, H.; Schleuning, M. and Piepenbring, M. (2018). Temporal variation of fungal diversity in a mosaic landscape in Germany. *Studies in Mycology 89:95–104.* doi.org/10.1016/j.simyco.2018.01.001.

Runnel, K. and Lõhmus, A. (2017). Deadwood-rich managed forests provide insights into the old-forest association of wood-inhabiting fungi. *Fungal Ecology 27:155–167.*

Ryvarden, L. (2018). A first checklist of polypores from Mozambique. Polypores. *Fungiflora,* Olso, Norway.

Salerni, E.; Lagana, A.; Perini, C.; Loppi, S. and De Dominicis, V. (2002). Effects of temperature and rainfall on fruiting of macrofungi in oak forests of the Mediterranean area. *Israel Journal of Plant Sciences 50:189–198.*

Schmit, J. P. (2005). Species richness of tropical wood-inhabiting macrofungi provides support for species-energy theory. *Mycologia 97:751–761.*

Schmit, J. P. and Mueller, G. M. (2007). An estimate of the lower limit of global fungal diversity. *Biodiversity Conservation 16:99–111.*

Seibold, S.; Bässler, C.; Brandl, R.; Gossner, M. M.; Thorn, S.; Ulyshen, M. D. and Müller, J.

(2015). Experimental studies of dead-wood biodiversity - A review identifying global gaps in knowledge. *Biological Conservation 191:139–149.* doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.006.

Shah, F. et al. (2016). Ectomycorrhizal fungi decompose soil organic matter using oxidative mechanisms adapted from saprotrophic ancestors. *New Phytologist 209:1705–1719.*

Shao, S.; Tian, X. and Liu, P. (2011). In southwestern China: a new species and a new record. *Mycotaxon 116:437–446.*

Shen, X. X,; Zhou, X.; Kominek, J.; Kurtzman, C. P.; Hittinger, C. T. and Rokas, A. (2016). Reconstructing the backbone of the saccharomycotina yeast phylogeny using genome-scale data. *G3: Genes, Genomes, Genetics 6:3927–3939.*

Sikes, B. A. (2010). When do arbuscular mycorrhizal fungi protect plant roots from pathogens? *Plant Signaling and Behavior 5:763–765.*

Sikes, B. A.; Cottenie, K. and Klironomos, J. N. (2009). Plant and fungal identity determines pathogen protection of plant roots by arbuscular mycorrhizas. *Journal of Ecology 97:1274–1280.*

Sosef, M. S. M. et al. (2017). Exploring the floristic diversity of tropical Africa. *BMC Biology 15:1–23.*

Spatafora, J. W.; Aime, M. C.; Grigoriev, I. V.; Martin, F,.; Stajich, J. E. and Blackwell, M. (2017). The Fungal Tree of Life: from Molecular Systematics to Genome-Scale Phylogenies. *Microbiology Spectrum 5:1–32.*

Stalmans, M. (2016). Forest loss on Gorongosa Mountain. Gorongosa, Mozambique

Stalmans, M. and Beilfuss, R. (2008). Landscapes of Gorongosa National Park. Gorongosa,

Mozambique.

Stalmans, M. E.; Massad, T. J.; Peel, M. J. S.; Tarnita, C. E. and Pringle, R. M. (2019). War-induced collapse and asymmetric recovery of large-mammal populations in Gorongosa National Park, Mozambique. *PLoS ONE 14(3): e0212864.* https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212864.

Steffan, S. A.; Chikaraishi, Y.; Currie, C. R.; Horn, H.; Gaines-Day, H. R.; Pauli, J. N.; Zalapa, J. E. and Ohkouchi, N. (2015). Microbes are trophic analogs of animals. *PNAS 112:15119.15124.*

Stevens, B. M.; Propster, J.; Wilson, G. W. T.; Abraham, A.; Ridenour, C.; Doughty, C. and Johnson, N. C. (2018). Mycorrhizal symbioses influence the trophic structure of the Serengeti. *Journal of Ecology 106:536–546.*

Sutherland, W. J. (2006). *Ecological Census Techniques.* Second edition. Cambridge University, New York.

Tadross, M.; Jack, C. and Hewitson, B. (2005). On RCM-based projections of change in southern African summer climate. *Geophysical Research Letters 32:1–4.*

Tahat, M. M.; Sijam, K. and Othman, R. (2010). Mycorrhizal Fungi As Biocontrol. *Plant pathology journal 19 (4): 198-207.*

Talbot, J. M.; Bruns, T. D.; Smith, D. P.; Branco, S.; Glassman, S. I.; Erlandson, S.; Vilgalys, R. and Peay, K. G. (2013). Independent roles of ectomycorrhizal and saprotrophic communities in soil organic matter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry 57:282–291.* doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.10.004.

Tang, Z.; Fang, J.; Sun, J. and Gaston, K. J. (2011). Effectiveness of protected areas in

maintaining plant production. *PLoS ONE 6.*

Taylor, P. and Pradhan, P. (2013). Macrofungal diversity and habitat specificity : a case study. *Biodiversity:37–41*.

Tedersoo, L. et al (2014). Global diversity and geography of soil fungi. *Fungal biogeography*. Vol 346, p. 1078. doi: 10.1126/science.aaa1185.

Tedersoo, L.; Sánchez-Ramírez, S.; Kõljalg, U.; Bahram, M.; Döring, M.; Schigel, D.; May, T.; Ryberg, M. and Abarenkov, K. (2018). High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal Diversity 90:135–159.*

Tibuhwa, D. D.; Muchane, M. N.; Masiga, C.; Mugoya, C. and Muchai, M. (2011). An inventory of macrofungi and their diversity in the Serengeti-Masai Mara ecosystem, Tanzania and Kenya. *Journal of Biological Sciences 11:13.*

Timberlake, J.; Darbyshire, I.; Wursten, B.; Hadj-hammou, J.; Mapaura, A.; Matimele, H. and Banze, A. (2016). Chimanimani mountains: botany and conservation. Royal Botanic Garden, Kew. London.

Tinley, K. L. (1977). Framework of the Gorongosa ecosystem. University of Pretoria, Faculty of Science -Theses.

Torruella, G. et al. (2015). Phylogenomics Reveals Convergent Evolution of Lifestyles in Close Relatives of Animals and Fungi. *Current Biology 25:2404–2410.*

Turrini, A, and Giovannetti, M. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungi in national parks, nature reserves and protected areas worldwide: A strategic perspective for their in situ conservation. *Mycorrhiza 22:81–97.*

Uaciquete, A.; Dai, M. D. L. and Motta, H. (1996). Distribuição, valor económico e uso

sustentável dos cogumelos comestíveis em Moçambique. Maputo, Moçambique.

van der Heijden, M. G. A.; Martin, F. M.; Selosse, M. A. and Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: The past, the present, and the future. *New Phytologist 205:1406–1423.*

Van Dijk, H.; Onguene, N. A. and Kuyper, T. W. (2003). Knowledge and utilization of edible mushrooms by local populations of the rain forest of South Cameroon. *Royal Swedish Academy of Sciences 32:19–23.*

Varga, T. et al. (2019). Megaphylogeny resolves global patterns of mushroom evolution. Nature *Ecology and Evolution 3:668–678.* doi.org/10.1038/s41559-019-0834-1.

Venturella, G. et al. (2011). Fungal biodiversity and in situ conservation in Italy. *Plant Biosystems 145:37–41.*

Webster, J. and Weber, R. W. S. (2007). *Introduction to fungi.* Third edition. Cambridge university, New York.

Wehner, J.; Antunes, P. M.; Powell, J. R.; Mazukatow, J. and Rillig, M. C. (2010). Plant pathogen protection by arbuscular mycorrhizas: A role for fungal diversity? *Pedobiologia 53:197–201.* doi.org/10.1016/j.pedobi.2009.10.002.

Wei, T.; Yao, Y.; Wang, B. and Pegler, D. N. (2004). *Termitomyces bulborhizus* sp . nov . from China , with a key to allied species. *Mycology 108:1458–1462.*

WeiBbecker, C.; Wubet, T.; Lentendu, G.; Kühn, P.; Scholten, T.; Bruelheide, H. and Buscot, F. (2018). Experimental evidence of functional group-dependent effects of tree diversity on soil fungi in subtropical forests. *Frontiers in Microbiology 9:1–16.*

Williams-linera, G.; Go, M.; Guevara, R. and Lodge, D. J. (2012). Patterns of macromycete

community assemblage along an elevation gradient : options for fungal gradient and metacommunity analyses. *Biodiversity Conservation 21:2247–2268.*

Willis, K. J. (2018). State of the World's Fungi 2018. Royal Botanic Gardens. Kew. London

Wilsey, B. J.; Daneshgar, P. P.; Hofmockel, K. and Polley, H. W. (2014). Invaded grassland communities have altered stability-maintenance mechanisms but equal stability compared to native communities. *Ecology Letters 17:92–100.*

Wilson, A. W.; Hosaka, K. and Mueller, G. M. (2017). Evolution of ectomycorrhizas as a driver of diversification and biogeographic patterns in the model mycorrhizal mushroom genus *Laccaria. New Phytologist 213:1862–1873.*

WWF. (2016). Construindo o futuro das áreas de conservação em Moçambique: Sumário. WWF Mozambique, Maputo. Moçambique.

Yuste, J. C.; Peñuelas, J.; Estiarte, M.; Garcia-Mas, J.; Mattana, S.; Ogaya, R.; Pujo,l. M. and Sardans, J. (2011). Drought-resistant fungi control soil organic matter decomposition and its response to temperature. *Global Change Biology 17:1475–1486.*

Zamora, J. C. et al. (2018). Considerations and consequences of allowing DNA sequence data as types of fungal taxa. *IMA Fungus 9:167–175*.

Zaniewski, A. E.; Lehmann, A. and Overton, J. M. C. (2002). Predicting species spatial distributions using presence-only data: A case study of native New Zealand ferns. *Ecological Modelling 157:261–280.*

Zotti, M. et al. (2013). Macrofungi as ecosystem resources: Conservation versus exploitation. *Plant Biosystems.* doi:10.1080/11263504.2012.753133.