



DANILO DE ATHAYDE SAUL

**ASSIM NA TERRA COMO NO DOSSEL: O EFEITO DA
DEGRADAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA SOBRE AS
COMUNIDADES DE COGUMELOS SILVESTRES**

**LAVRA – MG
2020**

DANILO DE ATHAYDE SAUL

**ASSIM NA TERRA COMO NO DOSSEL: O EFEITO DA DEGRADAÇÃO DA MATA
ATLÂNTICA SOBRE AS COMUNIDADES DE COGUMELOS SILVESTRES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Eustáquio Souza Dias

Orientador

Prof. Dr. Jair Putzke

Coorientador

**LAVRAS – MG
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Saul, Danilo de Athayde.

Assim na terra como no dossel: o efeito da degradação da Mata Atlântica sobre as comunidades de cogumelos silvestres / Danilo de Athayde Saul. - 2020.

53 p. : il.

Orientador(a): Eustáquio Souza Dias.

Coorientador(a): Jair Putzke.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Cogumelos silvestres. 2. Mata Atlântica. 3. Ecologia. I. Dias, Eustáquio Souza. II. Putzke, Jair. III. Título.

DANILO DE ATHAYDE SAUL

**ASSIM NA TERRA COMO NO DOSSEL: O EFEITO DA DEGRADAÇÃO DA MATA
ATLÂNTICA SOBRE AS COMUNIDADES DE COGUMELOS SILVESTRES**

**ON EARTH AS IT IS IN CANOPY: ATLANTIC RAINFOREST DEGRADATION
AND ITS EFFECT ON WILD MUSHROOMS COMMUNITY**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 30 de julho de 2020.

Prof. Dr. Eustáquio Souza Dias UFLA

Prof. Dr. Jair Putzke UNIPAMPA

Prof. Dr. Jorge Teodoro de Souza UFLA

Prof. Dr. Marco Aurélio Leite Pontes UFLA



Prof. Dr. Eustáquio Souza Dias

Orientador

Prof. Dr. Jair Putzke

Coorientador

**LAVRAS – MG
2020**

Dedico a minha família, em especial aos meus pais que sempre me deram todo apoio necessário, e a meu amigo canino Apolo com o qual compartilhei diversos momentos importantes de minha vida e recebi amor incondicional.

AGRADECIMENTO

Agradeço ao orientador Prof. Eustáquio Souza Dias por todo apoio e ensinamentos durante a pesquisa, assim como ao coorientador Prof. Dr. Jair Putzke pelos ensinamentos e pela disponibilidade de vir a Lavras e acompanhar o desenvolvimento, como também pelo auxílio durante as identificações taxonômicas.

Agradeço também aos meus colegas do grupo Biofungi pelo apoio e amizade.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola, em especial a coordenação e secretaria pela atenção e prontidão.

Aos professores e funcionários do programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola pelos ensinamentos e auxílio.

Agradeço a todos que de alguma forma estiveram presentes nessa etapa de minha vida.

A todos vocês, minha sincera gratidão.

RESUMO

Considerado um dos 36 “hotspots” mundiais para a conservação da biodiversidade, o domínio Mata Atlântica abriga florestas tropicais e subtropicais de grande biodiversidade e com alta taxa de endemismo. No entanto, devido às constantes degradações, estima-se apenas 12,8% de cobertura original. Na natureza, os cogumelos podem ser encontrados em uma variedade de substratos. Ecologicamente, estes fungos desempenham um papel importante na ciclagem de nutrientes e na interação com plantas e insetos, sendo considerados potenciais indicadores ambientais. Assim como outros organismos, os cogumelos interagem com uma série de fatores ambientais relacionados à vegetação e ao microclima. Neste estudo avaliou-se a comunidade de cogumelos silvestres em ambientes naturais de Mata Atlântica, assim como em ambientes artificiais de vegetação nativa e exótica, a fim de responder os seguintes questionamentos: (1) Quais os efeitos da degradação da Mata Atlântica nas comunidades de cogumelos silvestres? (2) Qual a influência de fatores ambientais relacionados ao microclima na riqueza, abundância e composição da comunidade? (3) Em quais substratos as comunidades de cogumelos se distribuem ao longo das diferentes coberturas vegetais e, (4) qual sua relação com a riqueza, abundância e composição da comunidade? Todos os basidiomas pertencentes ao filo Basidiomycota foram coletados e identificados ao nível de gênero de acordo com suas características morfológicas, micro e macroscópicas. Além disso, variáveis ambientais (temperatura atmosférica, pH e umidade do solo e precipitação) foram coletadas em cada ponto de coleta, para em seguida serem avaliados seus efeitos sobre variáveis da comunidade de cogumelos através de modelos generalizados mistos. Observou-se baixa riqueza e abundância nos ambientes artificiais de vegetação exótica, enquanto que os ambientes artificiais de vegetação nativa se mostraram mais próximos dos valores encontrados nos ambientes naturais. Em geral, os fatores microclimáticos avaliados apresentaram influência positiva na riqueza, abundância e composição da comunidade de cogumelos silvestres. A comunidade de cogumelos encontrou-se distribuída principalmente nos substratos ricos em lignina e celulose, como serrapilheira e madeira, correspondendo com a disponibilidade de substrato e a maior representatividade de cogumelos saprófitas observada. Os resultados deste estudo expõem os impactos causados pela degradação da Mata Atlântica e contribuem com informações relevantes para programas de conservação que compreendem cogumelos silvestres e o domínio Mata Atlântica.

Palavras-chave: macrofungos, comunidade de macrofungos, variáveis ambientais, ecologia de comunidades, floresta estacional semidecidual montana.

ABSTRACT

The Atlantic Rainforest domain is considered one of the 36 hotspots for biodiversity conservation worldwide, as it hosts tropical and subtropical biodiversity rich forests with high endemism. However due to continuous degradation it is estimated only 12.8% of its original area. In nature, mushrooms can be found on a variety of substrates. Ecologically, these fungi perform an important role on nutrient cycling and in the interaction with plants and insects, being considered potential environmental indicators. As other organisms, mushrooms interact with a range of environmental factors related to vegetation and microclimate. In this study the wild mushroom community was evaluated in natural forest ecosystems of Atlantic Rainforest as well as in artificial ecosystems with native and exotic vegetation in order to respond to following questions: (1) What are the effects of the Atlantic Rainforest degradation on wild mushrooms communities? (2) What's the influence of environmental factors related to microclimate on richness, abundance and community composition? (3) In which substrates the wild mushroom communities distribute along different vegetation covering and, (4) what is its relation with richness and abundance? All the sporocarps belonging to Basidiomycota were collected and identified at the genus level according to their micro and macroscopical morphological characteristics. Furthermore, environmental variables (air temperature, soil pH and moisture, and precipitation) were collected from each survey site to evaluate their effects on mushroom's community variables using generalized linear mixed model analysis. We observed a huge loss on wild mushroom richness and abundance in artificial ecosystems of exotic vegetation, while the values of artificial ecosystems of native vegetation were closer to the values obtained for natural ecosystems. Generally, the evaluated microclimate factors showed positive influence on richness, abundance and community composition. The wild mushroom community was mostly distributed on lignin and cellulose rich substrates, as litterfall and wood, which correspond with substrate availability and the observed major significance of saprophytic macrofungi. The results of this study expose the impacts of the Atlantic Rainforest degradation on wild mushrooms communities and contribute with valuable information for biodiversity conservation programs related to wild mushrooms and to this domain.

Keywords: macrofungi, macrofungal community, community ecology, environmental variables, montane semideciduous forest.

SUMÁRIO

PRIMEIRO CAPÍTULO.....	11
1. INTRODUÇÃO.....	11
2.REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Macrofungos e cogumelos	12
2.1.1 Características morfológicas macroscópicas para identificação.....	14
2.1.2 Características morfológicas microscópicas para identificação	15
2.2 A diversidade de cogumelos silvestres (Basidiomycota) no Brasil	15
2.3 O domínio fitogeográfico Mata Atlântica e estudos envolvendo cogumelos	16
2.4 Fatores ambientais e sua relação com cogumelos silvestres.....	17
2.5 A importância ecológica dos cogumelos silvestres	19
REFERÊNCIAS.....	20
SEGUNDO CAPÍTULO.....	24
ASSIM NA TERRA COMO NO DOCEL: O EFEITO DA DEGRADAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA SOBRE AS COMUNIDADES DE COGUMELOS SILVESTRES.....	24
1. INTRODUÇÃO	27
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.1 Áreas de estudo	28
2.2 Coleta e identificação dos cogumelos.....	30
2.3 Coleta das variáveis ambientais e espaciais.....	31
2.4 Análise de dados.....	31
1.RESULTADOS.....	33
3.1 Riqueza de gêneros e composição	33
3.2 Influência de variáveis ambientais na estrutura e composição da comunidade de cogumelos	34
3.3 Padrões da composição funcional da comunidade de cogumelos em resposta a características dos ambientes.....	36
2.DISSCUSSÃO	39
4.1 A baixa diversidade encontrada nos ambientes artificiais de vegetação exótica	39
4.2 Variáveis ambientais e espaciais e sua relação com a composição, riqueza e abundância dos gêneros.....	40
4.3 Grupos funcionais e sua relação com a riqueza e abundância de gêneros.....	42

5. CONCLUSÃO	43
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
REFERÊNCIAS.....	45
ANEXO A – Metodologia de coleta.....	49
ANEXO B – As famílias e números de gêneros, morfoespécies e abundância de basidiomas coletados neste estudo.	50
ANEXO C - Distribuição e abundância dos gêneros observados em cada área de coleta.	51

PRIMEIRO CAPÍTULO

1. INTRODUÇÃO

Considerado um dos 36 “hotspots” mundiais para a conservação da biodiversidade, o domínio biogeográfico da Mata Atlântica tem sofrido com constantes desmatamentos relacionados à expansão de áreas urbanas e zonas de pastagem (JOLY; METZEGGER; TABARELLI, 2014; NEVES et al., 2017; REZENDE et al., 2018). Devido à extrema degradação de suas florestas, estima-se apenas 12,4% de cobertura original e grande parte encontra-se distribuída em pequenos fragmentos menores que 50 hectares (RIBEIRO et al., 2009).

O termo “cogumelo” é utilizado para macrofungos que tem a capacidade de desenvolver uma estrutura reprodutiva macroscópica, visível a olho nu (CHANG; MILES, 2004; WEBSTER; WEBER, 2007). No entanto, o termo cogumelo é também comumente utilizado para definir a própria estrutura reprodutiva (KUES; NAVARRO GONZALEZ, 2015). Embora a maior parte destes fungos esteja incluída no filo Basidiomycota, muitos ascomicetos também são capazes de formar tal estrutura (DIAS; BRITO, 2017; KIRK, et al., 2008).

Ecologicamente, os cogumelos desempenham um papel importante na ciclagem de nutrientes e podem ser divididos em dois grupos funcionais principais de acordo com sua função ecológica e estratégia de vida. Os saprófitas, considerados os principais decompositores de matéria orgânica e os ectomicorrízicos, que estabelecem relação simbiótica com raízes de plantas, otimizando a absorção de nutrientes e trazendo proteção contra patógenos (AMBROSIO et al., 2018; TEDERSOO; MAY; SMITH, 2010; TRAPPE et al., 1998). Além de sua importância como decompositores e simbiontes, estes fungos possuem a capacidade de se dispersar e colonizar novos ambientes mais rapidamente que arbustos e árvores (ALDAY et al., 2017).

Os cogumelos silvestres apresentam estreita relação com a composição e estrutura florestal, uma vez que a vegetação disponibiliza condições adequadas para a colonização e distribuição das espécies, principalmente para os decompositores de madeira e serrapilheira, que dependem da disponibilidade deste tipo substrato (LODGE et al., 2004; KUTZEGI et al., 2015). Deste modo, perturbações ambientais como a degradação, fragmentação e perda de habitat podem impactar diretamente na riqueza e composição da comunidade de cogumelos

silvestres (ABREGO; SALCEDO, 2011; STRAASTMA; AYER; ELGI, 2001; TEDERSOO et al., 2014).

De acordo com Kutzegi et al. (2015), variações no microclima influenciam na riqueza, abundância e, em alguns casos até mesmo na diversidade de espécies. O microclima faz parte do microhabitat e é influenciado pelas características do ambiente. Fatores climáticos como temperatura precipitação e umidade têm sido avaliados por diversos estudos, em escala global e local, e são considerados os principais determinantes na composição da comunidade de cogumelos silvestres (CHEN et al., 2018; KUTZEGI et al., 2015; TEDERSOO et al., 2018).

A realização de estudos em áreas ainda não exploradas é de grande relevância, uma vez que amplia o conhecimento da diversidade e ecologia deste grupo (PUTZKE; PUTZKE, 2017). No Brasil, estudos sobre a dinâmica e estrutura da comunidade de cogumelos são ainda escassos (ALVES; URCELAI; DA SILVEIRA, 2018). Estes estudos disponibilizam informações relevantes sobre aspectos ecológicos que contribuem para o manejo e conservação deste grupo, como também do ambiente em que se incluem (AMBROSIO et al., 2018).

Levando em consideração o atual estado de degradação do domínio Mata Atlântica e a importância dos cogumelos silvestres para o ecossistema, este estudo se propôs em responder os seguintes questionamentos: (1) Qual o efeito da degradação da Mata Atlântica nas comunidades de cogumelos silvestres? (2) Qual a influência de fatores ambientais relacionados ao microclima na riqueza, abundância e composição da comunidade de cogumelos silvestres? (3) Em quais substratos as comunidades de cogumelos se distribuem ao longo das diferentes coberturas vegetais e, (4) qual sua relação com a riqueza, abundância e composição da comunidade?

2. REFERENCIAL TEÓRICO

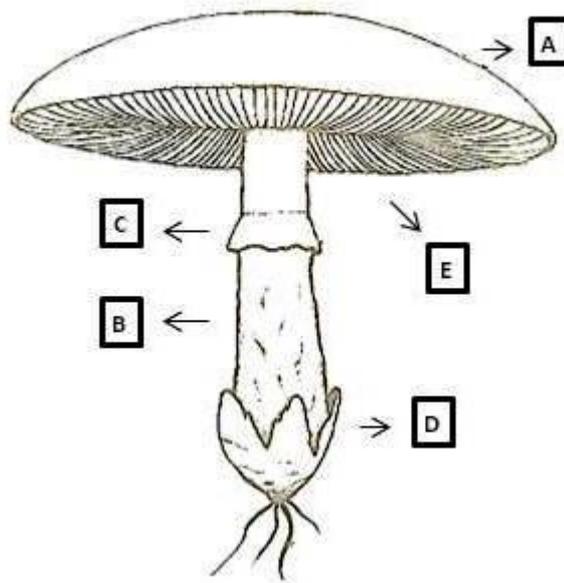
2.1 Macrofungos e cogumelos

Os fungos pertencem a um reino muito diverso, com a estimativa de 1,5 milhão de espécies existentes. São organismos eucariotos heterotróficos que se assemelham pelo seu modo de nutrição, no qual secretam enzimas no substrato, degradando-o nos seus constituintes básicos e assimilando os nutrientes por absorção (ALEXOPOULOS et al., 1996; KIRK et al., 2008). A abordagem mais recente de Naranjo Ortiz e Gabaldón (2019) propõe que o reino seja representado por nove filos. Destes, apenas fungos incluídos nos filos

Ascomycota e Basidiomycota possuem a capacidade de formar estruturas reprodutivas macroscópicas chamadas de basidiomas ou cogumelos. Consequentemente, a terminologia macrofungo é aplicada para este tipo de fungo (ALEXOPOULOS et al., 1996).

O cogumelo ou basidioma é considerado a estrutura reprodutiva final, resultante da fase sexuada do ciclo de vida de macrofungos, formada pela junção de diversas hifas dicarióticas, desencadeada por fatores ambientais, dependendo da espécie (CHANG; MILES 2004; WEBSTER; WEBER, 2007). A forma mais comum de um cogumelo é a de um guarda chuva, dividindo-se em píleo, também chamado de chapéu, himenóforo (parte fértil) e estipe ou pé. Deste grupo, algumas espécies podem apresentar anel e/ou volva (Figura 1). Todavia, os cogumelos podem variar bastante quanto a sua forma, apresentando forma globosa, coralóide, de disco, de taça, de cérebro, de estrela e até similar a um ninho de passarinho (BOA, 2005; CHANG; MILES, 2004). O cogumelo é considerado, com algumas exceções, uma fase não duradoura do ciclo de vida de um fungo. A parte vegetativa, chamada micélio, encontra-se distribuída no substrato (solo, madeira ou outro material lignocelulósico), promovendo a colonização. Quando em condições favoráveis, o micélio pode formar o cogumelo, que resulta na produção e dispersão de esporos no ambiente (CHANG; MILES, 2004; SOCCOL et al., 2016).

Figura 1. Principais partes de um cogumelo



Legenda: A – Píleo, B – Estipe, C- Anel ou véu, D – Volva, E – Himenóforo.
 Fonte: Putzke e Putzke (2017)

Quanto ao modo ou estratégia de vida, os macrofungos podem ser classificados como micorrízicos, saprófitas ou parasitas. Os saprófitas obtêm nutrientes da decomposição de matéria orgânica, sendo extremamente importantes para o ecossistema, por participarem da ciclagem de nutrientes. Os parasitas obtêm seus nutrientes de outros organismos, geralmente causando danos ao hospedeiro. As espécies micorrízicas (simbióticas) não causam dano algum, pelo contrário, auxiliam no processo de crescimento vegetal, facilitando a assimilação de nutrientes provenientes do solo (BOA, 2005; HALL et al., 2003). De acordo com Chang e Miles (2004), os cogumelos podem ser simplificadaamente distribuídos em quatro categorias: comestíveis (Ex. *Pleurotus ostreatus*), medicinais (Ex. *Ganoderma lucidum*), venenosos (Ex. *Amanita phalloides*) e outros, que incluem cogumelos que ainda não tiveram suas propriedades definidas.

2.1.1 Características morfológicas macroscópicas para identificação

De acordo com Langert (1986b), Lodge et al. (2004) e Putzke e Putzke (2017), a identificação a partir de características morfológicas macroscópicas avalia também aspectos como hábitat, tipo de substrato, modo de fixação ao substrato, crescimento, consistência dos basidiomas, odor e sabor. Dados referentes à morfologia são observados a olho nu ou, por vezes, com o auxílio de um microscópio ótico em laboratório. O uso de fotografias pode auxiliar quando algumas características não são visualizadas em campo. As principais estruturas avaliadas e suas características são:

- Píleo: consistência e dimensões do corpo de frutificação, aspecto e cor da superfície superior, tipo e cor do himenóforo, número de poros ou lamelas por milímetro e sua forma, cor, espessura e aspecto dos tubos e contexto.
- Lamelas: forma, inserção em relação ao estipe (livre, colariadas, adnexas adnatas e decurrentes), abundância (próximas a distantes), cor, bordas e consistência.
- Estipe: dimensões, posição, forma, cor, superfície e consistência.
- Véu: duração, tamanho, forma, posição, superfície e cor.
- Anel: duração, tamanho, forma, posição, superfície, cor, consistência, margem, relação com o estipe.
- Cor da esporada.

2.1.2 Características morfológicas microscópicas para identificação

A observação das características morfológicas microscópicas é realizada com o auxílio de um microscópio óptico. As principais estruturas morfológicas microscópicas e suas características observadas são (LANGERT, 1986a; PUTZKE; PUTZKE, 2017):

- Camada cortical do píleo (formato, pigmentação, diâmetro das hifas e hipoderme).
- Contexto (tipo, diâmetro, disposição das hifas, presença de espaços e gelatinização).
- Conformação das tramas da lamela, píleo e estipe.
- Presença, forma e tamanho de elementos estéreis, como cystídios.
- Forma, tamanho, superfície e detalhes da parede de basidiósporos.
- Largura de hifas da pileipellis, contexto, trama da lamela e estipetipellis.
- Ausência e presença de grampos de conexão (fíbulas).

A identificação taxonômica de cogumelos pode ser realizada a partir da observação de características morfológicas macro e microscópicas seguindo as orientações de chaves dicotômicas (LODGE et al., 2004).

2.2 A diversidade de cogumelos silvestres (Basidiomycota) no Brasil

O filo Basidiomycota tem sua origem há aproximadamente 350 milhões de anos e inclui a maior parte dos fungos que formam cogumelos. Trata-se do segundo em número de espécies atrás do filo Ascomycota e juntos compreendem a maior parte das espécies do reino Fungi (HE et al., 2019; KIRK et al., 2008). O filo é considerado bastante complexo, devido às suas estruturas sexuais, dentre elas os basídios, onde ocorrem a cariogamia e a meiose, formando esporos sexuais, chamados de basidiósporos (WEBSTER; WEBER, 2007). Este filo contém ao menos três subfilos bem definidos, Pucciniomycotina, Ustilagomycotina e Agaricomycotina. Basidiomicetos incluídos no subfilo Agaricomycotina tem a capacidade de formar tais estruturas macroscópicas que chamamos de cogumelos, boletos, “puffballs”, estrelas da terra, entre outras formas, que podem ser encontradas sobre o solo ou no interior do mesmo (HE et al., 2019; NARANJO ORTIZ e GABALÓN, 2019).

Em um recente trabalho, He et al. (2019) estimaram a existência de aproximadamente 41 mil espécies incluídas no filo Basidiomycota e em torno de 31 mil espécies para o subfilo Agaricomycotina, o que representa aproximadamente 31% das espécies já descritas para reino Fungi. Agaricales (13.233 spp), Pucciniales (7798 spp) e Polyporales (1801 spp) estão entre

as ordens mais diversas mundialmente (KIRK et al., 2008). Para o Brasil, de acordo com Maia et al. (2015), considera-se 2741 espécies de basidiomicetos, representadas pelas ordens Agaricales (927 spp), Pucciniales (750 spp), Polyporales (453 spp), Hymenochaetales (166 spp), Russulales (137 spp) e Boletales (92 spp).

O domínio biogeográfico Mata Atlântica está entre os mais estudados em relação á diversidade desse grupo (PUTZKE; PUTZKE, 2017). De acordo com os dados provenientes do site Flora do Brasil 2020 (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>), estão descritas 1343 espécies de basidiomicetos para o domínio, distribuídas nas ordens Agaricales (534 spp), Polyporales (386 spp), Hymenochaetales (142 spp), Russulales (71 spp), Boletales (65 spp) e Pucciniales (27 spp). As regiões Sul e Sudeste concentram maior parte dos registros com 1433 e 1349 espécies, respectivamente. No entanto, o estado de Minas Gerais carece de informações sobre a diversidade de cogumelos silvestres. Para o estado estão catalogadas 331 espécies e apenas 25 espécies para a ordem Agaricales, a mais representativa do filo.

2.3 O domínio fitogeográfico Mata Atlântica e estudos envolvendo cogumelos

O domínio fitogeográfico da Mata Atlântica já foi uma das maiores florestas tropicais das Américas, cobrindo mais de 1 450 000 km² do território brasileiro (JOLY et al., 2014). Sua cobertura latitudinal é de aproximadamente 29°, estendendo-se por regiões tropicais e subtropicais. Sua cobertura longitudinal é bastante ampla e tem efeito na composição florestal devido às diferenças nos níveis de precipitação em cada localidade, que são influenciados pela distância da costa. Deste modo, áreas mais próximas da costa recebem maior quantidade de chuvas durante o ano, enquanto que áreas mais distantes passam por maiores períodos de estiagem. O efeito relevo também participa da composição florestal devido a sua influência no clima (RIBEIRO et al., 2009). Devido à sua heterogeneidade climática, o domínio é classificado em cinco tipos diferentes de floresta de acordo com sua composição florestal: floresta ombrófila densa, ombrófila aberta, ombrófila mista, estacional semidecidual e estacional decidual (BRASIL, 2006).

Conhecido por sua alta taxa de endemismo e biodiversidade, o domínio é considerado um dos 36 “hotspots” para a conservação da biodiversidade no mundo (REZENDE et al., 2018). Atualmente a maior parte do domínio (83,4%) encontra-se em pequenos fragmentos de mata (<50 ha) e sua cobertura atual está estimada em 12,4% da original (RIBEIRO et al., 2009). Ao longo de sua história o domínio tem sofrido desmatamentos relacionados com a

expansão urbana, industrialização, agricultura e pastoreio, e a cada ano novas áreas de floresta são perdidas (JOLY et al., 2014).

O domínio Mata Atlântica apresenta o maior número de espécies de cogumelos descritas e isso se deve à quantidade de estudos de fim taxonômico realizados (PUTZKE; PUTZKE, 2017). Dentre estes estudos, a maioria se concentra nas regiões Sul e Sudeste, ocorrendo nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo, principalmente. A tabela 1 apresenta alguns estudos envolvendo cogumelos silvestres no domínio Mata Atlântica em diferentes estados do país.

Tabela 1. Estudos envolvendo cogumelos silvestres e o domínio Mata Atlântica.

Estado	Ordem	Autores
Rio Grande do Sul	Geastrales, Lycoperdales, Phallales	Alves, Urcelay e da Silveira (2018).
	Agaricales	Silva, Cortez e da Silveira (2009).
Santa Catarina	Geastrales, Lycoperdales, Phallales	Alves, Urcelay e da Silveira (2018).
	Polyporales	Borba- Silva, Drechsler-Santos e Robledo (2015).
	Agaricales	Magnago, de Oliveira e Neves (2016).
Paraná	Agaricales, Boletales, Gomphales e Polyporales.	Pires et al. (2014).
	Geastrales, Lycoperdales, Phallales	Alves, Urcelay e da Silveira (2018).
São Paulo	Agaricales	Capelari (2011), Menoli e Capelari (2010), Freitas e Menolli (2019), Souza de Oliveira e Capelari (2016).
Minas Gerais	Agaricales	Rosa e Capelari (2009).
Pernambuco	Agaricales	Coimbra, Wartchow e Gibertoni (2013), Wartchow e Gomes (2019).
Paraíba	Boletales	Magnago, Neves e Silveira (2019). Sulzbacker et al. (2020).
	Agaricales	Wartchow, Maia e Cavalcanti (2013).
Rio Grande do Norte	Geastrales	Cabral et al. (2014).
	Agaricales	Freitas e Menolli (2019).

Fonte: Do autor, 2020.

2.4 Fatores ambientais e sua relação com cogumelos silvestres

Como os demais seres vivos, os macrofungos interagem com diversos fatores presentes no ambiente em que vivem. Para Terdersoo et al. (2014), os principais fatores ambientais em escala global que impactam na riqueza e composição da comunidade de fungos são os fatores climáticos (macro e microclima) seguidos de padrões edáficos e espaciais.

Dentre os fatores climáticos, a temperatura e precipitação são consideradas os maiores influenciadores da riqueza e composição de cogumelos (ADENIYI et al., 2018; CHEN et al., 2018; DIX; WEBSTER, 1995; STRAASTMA; AYER; EGLI, 2001). Para basidiomicetos, os principais fatores edáficos são pH e concentração de cálcio do solo (TEDERSOO et al., 2014).

Segundo Lodge et al. (2004), a riqueza de cogumelos está relacionada com sua localização geográfica, como também com as condições climáticas de cada região. Estes fatores influenciam diretamente na sazonalidade do desenvolvimento dos basidiomas das espécies. Deste modo, os macrofungos podem formar seus cogumelos apenas quando em condições favoráveis, o que pode variar muito de espécie para espécie. Na literatura há relatos de frutificações (referindo-se ao desenvolvimento do cogumelo) muito esparsas. Lodge (1996) observou que algumas espécies de Entolomataceae formavam seus basidiomas em períodos de dois a três anos. Straastma, Ayer e Egli (2001) observaram que algumas espécies frutificaram apenas em 1 ano durante 21 anos de estudo em florestas temperadas na Suíça.

Fatores como umidade e disponibilidade de água são considerados importantes no desenvolvimento dos cogumelos (ADENIYI et al., 2018). Estes fungos não possuem a capacidade de armazenar água, substância que está diretamente relacionada ao processo de expansão das hifas durante o desenvolvimento do basidioma (WEBSTER; WEBER, 2007). Além disso, os basidiomas necessitam de umidade para descarregarem seus esporos (DIX; WEBSTER, 1995).

A vegetação é outro fator que se relaciona com a composição da comunidade, principalmente ao se tratar de grupos funcionais, pois é a vegetação que disponibiliza grande parte dos substratos sobre os quais os fungos se desenvolvem (LODGE et al., 2004; KUTZEGI et al., 2015). A disponibilidade de habitat e a capacidade de dispersão são condicionadores importantes no sucesso de colonização. Alguns macrofungos conseguem dispersar para longe de seus basidiomas, entretanto a maior parte tem baixo poder de dispersão (CHEN et al., 2008). Abrego e Salcedo (2011) indicam que os macrofungos são fortemente impactados pela fragmentação e perda de habitat. Deste modo, a limitação de dispersão pode ser um fator impactante na riqueza de cogumelos silvestres (CHEN et al., 2018).

2.5 A importância ecológica dos cogumelos silvestres

Os fungos são agentes importantes na produção primária e ciclagem de nutrientes em muitos ecossistemas tropicais (MORRIS; ROBERTSON, 2005). Cogumelos do gênero *Lepiota*, *Clitocybe*, *Collybia*, *Mycena* e *Marasmius* são considerados os principais decompositores de serrapilheira. Outros macrofungos participam da decomposição primária de madeira, como *Pleurotus*, *Hohenbuehelia*, *Oudemansiella* e *Lentinus*, que tem a capacidade de degradar lignina e resistir à baixa concentração de nitrogênio. Após esse processo, decompositores secundários como *Pluteus* e *Psathyrella* podem ocorrer. Outros decompositores apresentam capacidade de assimilar amônia, sendo muitos deles observados em esterco. Dentre estes, os gêneros *Bolbitius*, *Conocybe*, *Coprinus*, *Panaeolus*, *Psilocybe* e *Stropharia* são exemplos (DIX; WEBSTER, 2005).

Outros gêneros são ecologicamente importantes por estabelecerem associações simbióticas com as raízes de plantas, chamadas micorrizas. Em basidiomicetos, essa associação ocorre de forma externa aos tecidos da raiz e por isso é denominada de ectomicorriza. Essa relação traz alguns benefícios para a planta, como a proteção contra patógenos e a ampliação da absorção de nutrientes e, logo, tem influência na estrutura da composição vegetal de um ecossistema (CLASEN et al., 2017; SMITH; READ, 2008).

Segundo Tedersoo et al. (2014), a diversidade de fungos está diretamente relacionada à diversidade total de um ecossistema. Deste modo, este grupo pode ser considerado um indicador da qualidade ambiental, sendo o monitoramento de suas comunidades essencial no estabelecimento de locais prioritários para conservação da biodiversidade (FEEST, 2006; FEEST et al., 2013; TÓTH; BARTA, 2010).

REFERÊNCIAS

- ABREGO, N.; SALCEDO, I. How does fungal diversity change based on woody debris type? A case study in Northern Spain. **Ekologija**, v. 57, p. 109–119, 2011.
- ADENIYI, M.; ODEYEMI, Y.; ODEYEMI, O. Ecology, diversity and seasonal distribution of wild mushrooms in a nigerian tropical forest reserve. **Biodiversitas**, v. 19, p. 285–295, 2018.
- ALDAY, J.G.; MARTÍNEZ DE ARAGÓN, J.; DE-MIGUEL, S.; BONET, J.A. Mushroom biomass and diversity are driven by different spatio-Temporal scales along Mediterranean elevation gradients. **Sci. Rep.**, v. 7, p. 1–11, 2017.
- ALEXOPOULOS, C.J., et al. **Introductory Mycology**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- ALVES, C.R.; URCELAY, C.; DA SILVEIRA, R.M. Indicator species and community structure of gasteroid fungi (*Agaricomycetes*, *Basidiomycota*) in ecosystems of the Atlantic Forest in southern Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v.41, p. 641-651, 2018.
- AMBROSIO, E. et al. Measuring macrofungal biodiversity quality using two different survey approaches: A case study in broadleaf Mediterranean forests. **Ecol. Indic**, v. 85, p. 1210–1230, 2018.
- BOA, E.R. **Wild edible fungi: a global overview of their use and importance to people**. Food & Agriculture Org., 2005.
- BORBA-SILVA, M.A.; DRECHSLER-SANTOS, E.L.; ROBLEDO, G.L. Community structure and functional diversity of polypores (Basidiomycota) in the Atlantic Forest of Santa Catarina State, Brazil. **Biotemas**, v. 28, n. 1, p. 1-11, 2015.
- BRASIL. **Lei nº 11.428, de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2006]. Disponível em: http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomas/mapas/lei11428_mata_atlantica.pdf
- CABRAL, T.S. et al. *Geastrum rusticum* (Geastraceae, Basidiomycota), a new earthstar fungus in the Brazilian Atlantic Rainforest – a molecular analysis. **Nova Hedwigia**, v. 98, p. 265-272, 2014.
- CLASEN, B.E. et al. Characterization of Ectomycorrhizal species through molecular biology tools and morphotyping. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 3, p. 246-254, 2018.
- CAPELARI, M. New species and new records of *Crepidotus* from the northwest region of São Paulo State, Brazil. **Mycotaxon**, Ithaca, v. 115, p. 145-153, 2011.
- COIMBRA, V.R.M.; WARTCHOW, F.; GIBERTONI, T.B. Studies on Entoloma (Agaricales, Basidiomycota) in the Atlantic Forest, Northeast Brazil. **Nova Hedwigia**, v. 97, p. 139-157, 2013.
- CHANG, S.T.; MILES, PHILIP G. **Mushrooms. Cultivation, Nutricional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact**. 2. ed. New York: Crc press, 2004. 477 p.
- CHEN, Y. et al. Drivers of macrofungi community structure differ between soil and rotten-wood substrates in a temperate mountain forest in China. **Front. Microbiol**, v. 9, p. 1–9, 2018.
- DIAS, E.S; BRITO, M. R. Mushrooms: Biology and Life Cycle. In: ZIED, D.C; PARDO-GIMÉNEZ, A. (Orgs). **Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications**. 1ª.ed. Hokoben, USA; Oxford, UK: Wiley Blackwell. Cap. 3. p.15-73. 2017.

- DIX, N.J.; WEBSTER, J. **Structural of fungal communities**, in: DIX, N.J., WEBSTER, J., Fungal Ecology. Springer-Science, Business Media, B.V, p. 39-80, 2005.
- FEEST, A. Establishing baseline indices for the quality of the biodiversity of restored habitats using a standardized sampling process. **Restor. Ecol**, v.14, p. 112–122, 2006.
- FEEST, A.. **The utility of the Streamlining European Biodiversity Indicators 2010 (SEBI 2010)**. **Ecol. Indic**, v. 28, p. 16–21, 2013.
- FREITAS, D.S.; MENOLLI JR, N. Volvate *Macrolepiota* from Brazil: *M. dunensis* sp. nov., *M. sabulosa* var. *velistellaris* var. nov., and observations on *M. pulchella*. **Mycotaxon**, v.134, p. 223-239, 2019.
- HALL, I. R. et al. **Edible an poisonous mushrooms of the world**. Portland, Cambridge: Timber press, 2003. 372 p.
- HE, M.Q. et al. Notes, outline and divergence times of Basidiomycota. **Fungal Diversity**, v. 99, p. 105-367, 2019.
- JOLY, C.A.; METZGER, J.P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: Ecological findings and conservation initiatives. **New Phytol**, v. 204, p. 459–473, 2014.
- KIRK, P. M. et al. **Ainsworth & Bisbys Dictionary of the Fungi**. 10. ed. Wallington, UK: Cabi Publishing, 2008. 771 p.
- KUES, U.; NAVARRO GONZÁLEZ, M. How do Agaricomycetes shape their fruiting bodies? 1. Morphological aspects of development. **Fungal Biology reviews**, p. 1-35, 2015.
- KUTZEGI, G. et al. Drivers of macrofungal species composition in temperate forests, West Hungary: functional groups compared. **Fungal Ecology**, v. 17, p. 69-83, 2015.
- LARGENT, D.L. et al. **How to identify mushrooms to genus III: microscopic features**. 3. ed. Mad River, California, 1986a. 148 p.
- LARGENT, D.L. **How to identify mushrooms to genus I: macroscopic features**. I. 2. ed. MadRiver, California, 1896b. 166 p.
- LODGE, D.J. et al. **Collecting and describing Macrofungi**. Elsevier Academic Press, 2004. p. 128-158.
- MAGNAGO, A.C.; NEVES, M.A.; SILVEIRA, R.M.B. *Boletellus nordestinus* (Boletaceae, Boletales), a new species from Northeastern Atlantic Forest, Brazil. **Studies in Fungi**, v. 4, n. 1, p. 47-53, 2019a.
- MAGNAGO, A.C.; DE OLIVEIRA, J.J.S.; NEVES, M.A. *Marasmius magnus* (Marasmiaceae), a new species from the southern Atlantic Forest of Brazil. **Phylotaxa**, v. 266, n. 4, p. 271-281, 2016.
- MENOLLI JR, N.; CAPELARI, M. Notes on *Pluteus* (Pluteaceae, Agaricales) from Brazil including two new species and a new record. **Mycologia**, v. 102, n. 3, p. 697-707, 2010.
- MORRIS, S.J., ROBERTSON, G.P. **Linking Function between scales of resolution**, in: Dighton, J. F.W., Oudemans, P. (Eds.), *The Fungal community: its organization and role in the ecosystem*. New York: CRC Press, 2005. p 22.

- NARANJO ORTIZ, M.A.; GALBADÓN, T. Fungal Evolution: diversity, taxonomy and phylogeny of the Fungi. **Biol. Rev.**, v. 94, p.2101-2137, 2019.
- NEVES, D.M, et al. Dissecting a biodiversity hotspot: The importance of environmentally marginal habitats in the Atlantic Forest Domain of South America. **Divers. Distrib.**, v. 23, p. 898–909, 2017.
- PUTZKE, J; PUTZKE, M.T.L. **Cogumelos (Fungos Agaricales L) no Brasil**. Volume 1. (Livro digital), [s.n], 518 p, 2017.
- REZENDE, C.L, et al. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspect. Ecol. Conserv.**, v. 16, p. 208–214, 2018.
- RIBEIRO, M.C, et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biol. Conserv.**, v.142, p. 1141–1153, 2009.
- ROSA, L.H.; CAPELARI, M. Agaricales fungi from Atlantic Rain Forest fragments in Minas Gerais, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 40, p. 846-851, 2009.
- SILVA, P.S.; CORTEZ, V.G.; DA SILVEIRA, R.M.B. New species of Stropharia from *Araucaria angustifolia* forests of southern Brazil. **Mycologia**, v. 101 (4), p. 539-544, 2009.
- SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal Symbiosis**. London, UK: Academic Press, 2008.
- SOUZA DE OLIVEIRA, J.J; CAPELARI, M. Three new species of Marasmius from remnants of the Atlantic Rainforest, São Paulo, Brazil. **Cryptogamie Mycologie**, v. 37, n. 1, p. 61-73, 2016.
- SOCCOL et al. Cogumelos: uma fonte promissora de compostos ativos para o desenvolvimento de bioprodutos farmacêuticos e nutracêuticos. In: RESENDE, R. R et al. (Orgs). **Biocologia Aplicada a Agroindústria: fundamentos e aplicações** – volume 4 (Livro eletrônico). 1ª ed. São Paulo: Blucher, 2016. Cap. 9. p.315 – 360.
- STRAATSMA, G.; AYER, F.; EGLI, S. Species richness, abundance, and phenology of fungal fruit bodies over 21 years in a Swiss forest plot. **Mycol. Res.** v. 105, p.515–52, 2001.
- SULZBACHER, M.A. et al. *Longistriata flava* (Boletaceae, Basidiomycota) – a new monotypic sequestrate genus and species from Brazilian Atlantic Forest. **Myckeys**, v. 62, p. 53-73, 2020.
- TEDERSOO, L.; MAY, T.W.; SMITH, M.E. Ectomycorrhizal lifestyle in fungi: Global diversity, distribution, and evolution of phylogenetic lineages. **Mycorrhiza** v. 20, 217–263, 2010.
- TEDERSOO, L. et al. Global diversity and geography of soil fungi. **Science**, v. 342, 2014.
- TÓTH, B.B.; BARTA, Z. Ecological studies of ectomycorrhizal fungi: An analysis of survey methods. **Fungal Divers**, v.45, p. 3–19, 2010.
- TRAPPE, J.M. et al. Protocols for an All Taxa Biodiversity Inventory of Fungi in a Costa Rican Conservation Area. *Mycologia*, 1998.
- WARTCHOW, F.; MAIA, L. C.; CAVALCANTI, M. A. Q. Studies on *Amanita* (Agaricomycetidae, *Amanitaceae*) in Brazil: two yellow gemmaoid taxa. **Nova Hedwigia**, Stuttgart, v. 96, p. 61-71, 2013.
- WARTCHOW, F.; GOMES, A.R.P. *Psathyrella euthygramma* (Agaricales, Basidiomycota), a new record from Brazil. **Darwiniana Nueva Serie**, v. 7, n. 1, p. 187-190, 2019.

WEBSTER, J.; WEBER, R. **Introduction to fungi**. 3. ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 841 p.

SEGUNDO CAPÍTULO

ASSIM NA TERRA COMO NO DOSSEL: O EFEITO DA DEGRADAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA SOBRE AS COMUNIDADES DE COGUMELOS SILVESTRES

Artigo formatado de acordo com as normas da revista Fungal Ecology (Versão preliminar)

RESUMO

Neste estudo avaliou-se a comunidade de cogumelos silvestres em ambientes naturais de Mata Atlântica, assim como em ambientes artificiais de vegetação nativa e exótica, a fim de responder os seguintes questionamentos: (1) Quais os efeitos da degradação da Mata Atlântica nas comunidades de cogumelos silvestres? (2) Qual a influência de fatores ambientais relacionados ao microclima na riqueza, abundância e composição da comunidade? (3) Em quais substratos as comunidades de cogumelos se distribuem ao longo das diferentes coberturas vegetais e, (4) qual sua relação com a riqueza, abundância e composição da comunidade? Todos os basidiomas pertencentes ao filo Basidiomycota foram coletados e identificados ao nível de gênero, de acordo com suas características morfológicas micro e macroscópicas. Além disso, variáveis ambientais (temperatura atmosférica, pH e umidade do solo e precipitação) foram coletadas em cada ponto de coleta, para em seguida serem avaliados seus efeitos sobre variáveis da comunidade de cogumelos através de modelos generalizados mistos. Observou-se baixa riqueza e abundância nos ambientes artificiais de vegetação exótica, enquanto que os ambientes artificiais de vegetação nativa se mostraram mais próximos dos valores encontrados nos ambientes naturais. Em geral, os fatores microclimáticos avaliados apresentaram influência positiva na riqueza, abundância e composição da comunidade de cogumelos silvestres. A comunidade de cogumelos encontrou-se distribuída principalmente nos substratos ricos em lignina e celulose, como serrapilheira e madeira, correspondendo com a disponibilidade de substrato e a maior representatividade de cogumelos saprófitas observada. Os resultados deste estudo expõem os impactos causados pela degradação da Mata Atlântica e contribuem com informações relevantes para programas de conservação que compreendem cogumelos silvestres e o domínio Mata Atlântica.

Palavras-chave: macrofungos, variáveis ambientais, ecologia de comunidades, ecologia de fungos, floresta estacional semidecidual montana.

ABSTRACT

In this study the wild mushroom community was evaluated in natural forest ecosystems of Brazilian Rainforest as well as in artificial ecosystems with native and exotic vegetation in order to respond to following questions: (1) What are the effects of the Brazilian Rainforest degradation on wild mushrooms communities? (2) What's the influence of environmental factors related to microclimate on richness, abundance and community composition? (3) In which substrates the wild mushroom communities distribute along different vegetation covering and, (4) what is its relation with richness and abundance? All the sporocarps belonging to Basidiomycota were collected and identified at the genus level according to their micro and macroscopical morphological characteristics. Furthermore, environmental variables (air temperature, soil pH and moisture, and precipitation) were collected from each survey site to evaluate their effects on mushroom's community variables using generalized linear mixed model analysis. We observed a huge loss on wild mushroom richness and abundance in artificial ecosystems of exotic vegetation, while the values of artificial ecosystems of native vegetation were closer to the values obtained for natural ecosystems. Generally, the evaluated microclimate factors showed positive influence on richness, abundance and community composition. The wild mushroom community was mostly distributed on lignin and cellulose rich substrates, as litterfall and wood, which correspond with substrate availability and the observed major significance of saprophytic macrofungi. The results of this study expose the impacts of the Brazilian Rainforest degradation on wild mushrooms communities and contribute with valuable information for biodiversity conservation programs related to wild mushrooms and to this domain.

Keywords: macrofungi, macrofungal community, community ecology, environmental variables, montane semideciduous forest.

1. INTRODUÇÃO

Como vem ocorrendo em vários biomas no mundo, a Mata Atlântica tem sofrido com constantes desmatamentos relacionados à industrialização e expansão de áreas urbanas e pastoreio (SOS Mata Atlântica, 2018). Conhecido mundialmente por suas florestas biodiversas e alta taxa de endemismo, o domínio é considerado um dos 36 “hotspots” mundiais para a conservação da biodiversidade (Rezende et al., 2018). No entanto, devido à incessante degradação de suas matas, estima-se que apenas 12,4% da cobertura original ainda esteja em pé, distribuída, em grande parte, em pequenos fragmentos, menores que 50 hectares (Ribeiro et al., 2009; SOS Mata Atlântica, 2018).

No Brasil, o maior número de espécies de cogumelos descritas encontra-se no domínio Mata Atlântica (Putzke e Putzke, 2017). De acordo com dados do site Flora do Brasil 2020 (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br>), estão registradas para o domínio 1343 espécies de basidiomicetos, distribuídas nas ordens Agaricales (534), Polyporales (386), Hymenochaetales (142), Russulales (71), Boletales (65) e Puccinales (27). Porém, mesmo com tantas espécies descritas, ainda há um grande desconhecimento sobre esse grupo no país, principalmente relacionado a estudos envolvendo ecologia.

Na natureza, os cogumelos podem ser encontrados em uma variedade de substratos, especialmente aqueles contendo lignina e celulose (Dix e Webster, 1995). Ecologicamente, estes fungos são importantes na ciclagem de nutrientes e cadeia alimentar, podendo ser divididos em dois grupos funcionais principais, de acordo com sua função ecológica e estratégia nutricional. Os saprófitas, considerados os principais decompositores de matéria orgânica e os ectomicorrízicos, que estabelecem relação simbiótica com raízes de plantas, otimizando a absorção de nutrientes e trazendo proteção contra patógenos (Trappe et al., 1998; Straastma et al., 2001; Tedersoo e Smith, 2013; Alday et al., 2017).

Em virtude da interação com os demais componentes de um ecossistema, os cogumelos são considerados potenciais indicadores ambientais e sua diversidade está geralmente relacionada à diversidade total de um ambiente (Feest et al., 2013; Ambrosio et al., 2018). Perturbações ambientais tais como a degradação, fragmentação e perda de habitat podem impactar diretamente na riqueza e composição da comunidade de cogumelos silvestres (Abrego; Salcedo, 2011; Straastma et al., 2001). Do mesmo modo, alterações no microclima também interagem com o grupo, estando muitas vezes associadas às características do ambiente (Kutzegi et al., 2015). A temperatura e precipitação são consideradas os principais determinantes da riqueza e composição da comunidade de cogumelos silvestres, contudo,

outras variáveis ambientais como umidade e pH do solo têm sido consideradas como relevantes em diversos estudos (Straatsma et al., 2001; Büntgen et al., 2011; Goldmann et al., 2016; O’hanlon e Harrington, 2011; Luo X et al., 2016; Adeniyi et al., 2018, Bhandari e Jha, 2017; Shuhada et al., 2020; Zhang et al., 2016; Tedersoo et al., 2014).

Pesquisas com o objetivo avaliar e comparar a comunidade de cogumelos em diferentes ecossistemas ainda são escassas no país, e contribuem com informações importantes para a elaboração de planos de manejo e conservação de áreas ameaçadas. Este estudo se propôs em avaliar a riqueza, abundância e a composição da comunidade de cogumelos em ambientes naturais (floresta estacional semidecidual) e artificiais (área em regeneração, florestas plantadas e pastagem), a fim de responder os seguintes questionamentos: (1) Qual o efeito da degradação da Mata Atlântica nas comunidades de cogumelos silvestres? (2) Qual a influência de fatores ambientais relacionados ao microclima na riqueza, abundância e composição da comunidade de cogumelos silvestres? (3) Em quais substratos as comunidades de cogumelos se distribuem ao longo das diferentes coberturas vegetais e, (4) qual a relação destes substratos com a comunidade de cogumelos silvestres?

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Áreas de estudo

As seis áreas de estudo estão localizadas no município de Lavras que se encontra na região Sul do estado de Minas Gerais (Brasil), entre as coordenadas UTM 7652332 e 7652603 de latitude sul e 502999 e 503122 de longitude oeste de Greenwich a uma altitude média de 900m. O clima do município é do tipo Cwb de Köppen (mesotérmico com verões brandos e suaves e estiagem de inverno). A temperatura média anual é de aproximadamente 19,3°C, precipitação anual normal de 1.530 mm, sendo que 66% da precipitação ocorre entre os meses de novembro e fevereiro. A vegetação primitiva pode ser considerada como de transição entre floresta estacional semidecidual montana do domínio Atlântico e Cerrado (Pereira et al. 2010). A fim de avaliar os impactos da degradação da Mata Atlântica nas comunidades de cogumelos silvestres, foram selecionadas seis áreas próximas entre si que previamente integravam uma área de Mata Atlântica. Duas destas áreas são pequenos fragmentos de floresta estacional semidecidual, consideradas neste estudo como ambientes naturais, enquanto que as demais variam quanto sua fitofisionomia, consideradas como ambientes artificiais. A descrição das áreas é dada a seguir:

Área A1: Ambiente Natural. Fragmento de aprox. 8 ha de floresta estacional semidecidual com um córrego que margeia a mata. Há algumas áreas com muita densidade de cipós e clareiras, com predominância de *Cecropia pachystachya*, bem distribuídas pela mata. Como espécies vegetais representativas encontram-se *Miconia cinnamomifolia*, *Piptadenia gonoacantha*, *Maprounea guianensis* e *Cabranea canjerana*. O subbosque é denso, com abundância de *Rubiaceae*, *Rutaceae*, *Monimiaceae* e *Mirtaceae* (D'Ângelo Neto et al., 1998).

Área A2: Ambiente Artificial. Floresta de Angico não manejada (aprox. 8,4 ha): reflorestamento implantado na década de 90 para avaliação do desempenho de espécies do gênero *Anadenanthera* spp., popularmente conhecidas como “Angico” (D'Ângelo Neto et al., 1998).

Área A3: Ambiente Natural. Reserva Florestal da Universidade Federal de Lavras, que consiste num fragmento com aprox. 5,8 ha de floresta estacional semidecidual próximo à área central da universidade (Veloso e Lima 1991). Como espécies representativas incluem-se *Copaifera langsdorfii*, *Xylopia brasiliensis*, *Sclerolobium rugosum*, *Ocotea corymbosa*, *Ocotea odorífera*, *Cryptocarya aschersoniana* e *Tapirira obtusa* (D'Ângelo Neto et al., 1998).

Área A4: Ambiente Artificial. Floresta não manejada de espécies exóticas, com aprox. 2,9 ha. Predomínio das espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.), *Eucalyptus grandis*, *E. pilularis*, *E. cloeziana* e *Corymbia maculata* (Braga et al., 2016; D'Ângelo Neto et al., 1998).

Área A5: Ambiente Artificial. Fragmento de mata nativa em regeneração com aprox. 0,6 ha, destacando-se as espécies arbóreas *Trema micrantha*, *Schinus terebinthifolius*, *Peltophorum dubium*, *Platypodium elegans*, *Erythrina speciosa* e *Enterolobium contortisiliquum*.

Área A6: Ambiente Artificial. Zona de pastoreio de aprox. 3,9 ha com predomínio de *Brachiaria* spp.

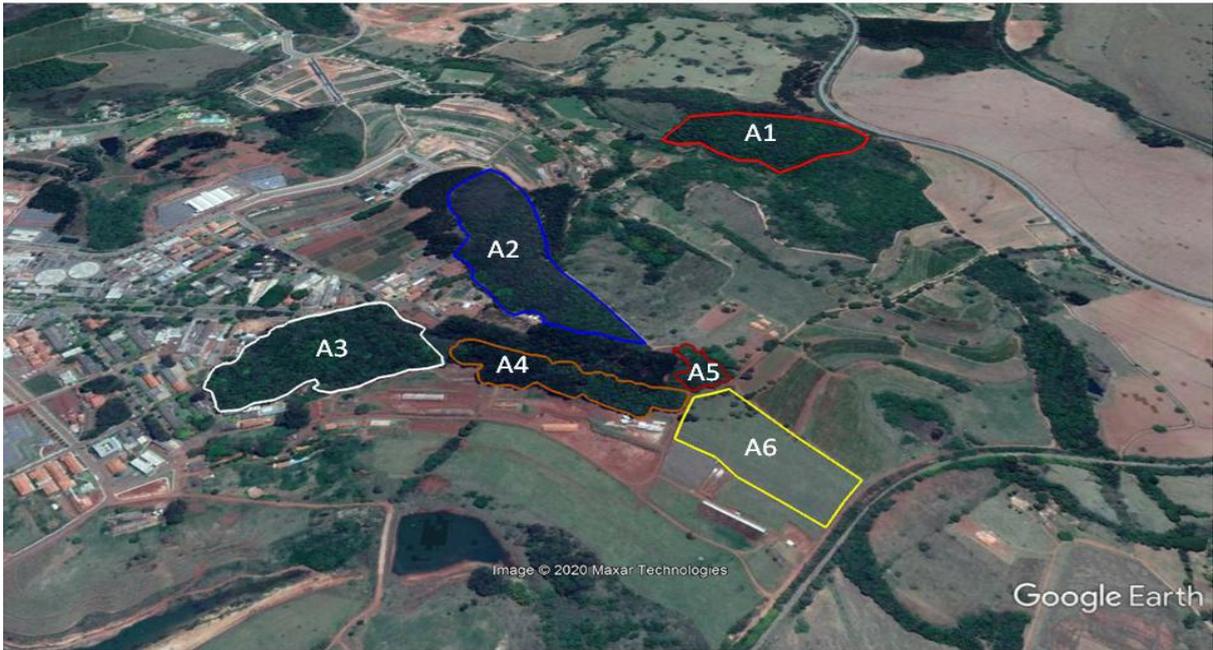


Figura 2. As áreas de estudo e sua disposição geográfica. A1. Fragmento de floresta estacional semidecídua (lat -21.221949° lon -44.963234°) A2. Floresta de Angico (lat -21.226358° , lon -44.967436°) A3. Reserva Florestal - UFLA, Fragmento de floresta estacional semidecídua (lat -21.227305° , lon -44.968865°), A4. Floresta plantada de *Pinus spp* e *Eucaliptus spp* (lat -21.227305° , lon -44.968865°), A5. Área em regeneração ambiental (lat -21.227305° , lon -44.968865°), A6. Área de pastoreio (lat -21.230020° , lon -44.966154°).

2.2 Coleta e identificação dos cogumelos

Neste trabalho, adotou-se o termo cogumelo para macrofungos que tem a capacidade de desenvolver uma estrutura reprodutiva macroscópica, chamada de basidioma (Chang; Miles, 2004; Webster; Weber, 2007).

A metodologia de amostragem segue adaptação de Feest (2006). Todos os basidiomas pertencentes ao filo Basidiomycota (com exceção do tipo “orelha de pau”) foram coletados dentro de 10 círculos (raio de 4 metros), dispostos ao longo de uma transeção de 200 m de comprimento. Estes círculos foram considerados como pontos de coleta. Foram realizadas quatro visitas mensais entre os meses de novembro de 2018 a fevereiro de 2019. A cada visita, uma nova transeção foi estabelecida, evitando subestimar a diversidade de cada área (ANEXO A). Todos os pontos de coleta foram georeferenciados por aparelho GPS para a utilização destes dados em posterior análise estatística. Os basidiomas foram fotografados em campo, usando como referência uma régua. Informações como a quantidade de basidiomas, habitat e hábito, tipo de substrato, diâmetro e comprimento do píleo e estipe, foram coletadas para cada morfotipo, para posterior análise taxonômica e para a análise da composição dos grupos funcionais. Em laboratório, os basidiomas foram devidamente desidratados em estufa

a 50°C para posterior análise microscópica para identificação ao nível de gênero e morfoespécie. A identificação foi feita com base nas características morfológicas macroscópicas (forma, estrutura e coloração do píleo e estipe, presença de anel ou véu e volva, tipo de himênio e cor da esporada) e microscópicas (forma e estrutura da camada cortical, contexto, cystídios, basídios e esporos). Para isso, foram realizados cortes à mão livre com hidratação em KOH (3%), reagente de Melzer e Azul de Cresil quando necessário, e posteriormente analisados sob microscópio óptico (Langert, 1986; Putzke e Putzke, 2017). Para as identificações, utilizou-se os livros de Putzke e Puzke (2017, 2018) e o site Mushroom Expert (www.mushroomexpert.com/). A classificação sistemática teve como base o trabalho de He et al. (2019) e as descrições taxonômicas seguiram as informações do site Index Fungorum (www.indexfungorum.org/Names/Names.asp).

2.3 Coleta das variáveis ambientais e espaciais

As variáveis ambientais abordadas neste estudo foram pH e umidade do solo, temperatura ambiente e precipitação de 7 dias anteriores à coleta. Todas as variáveis foram obtidas para cada ponto no momento da coleta, com exceção da precipitação, onde os dados foram adquiridos de uma estação meteorológica próxima às áreas de coleta. As amostras de solo foram coletadas em cinco repetições para cada ponto, formando uma amostra composta e posteriormente encaminhada ao laboratório. As análises da umidade e pH do solo foram feitas de acordo com os procedimentos padrões EMBRAPA (2017) e os dados de temperatura foram adquiridos com um termômetro digital no momento da coleta. Para a precipitação, foi utilizado o índice acumulado em sete dias anteriores ao dia de cada coleta, utilizando como base os dados da estação meteorológica da Universidade Federal de Lavras. Os dados de latitude e longitude obtidos para cada ponto de coleta foram utilizados como variáveis espaciais.

2.4 Análise de dados

De posse dos dados, inicialmente avaliou-se se a abundância, riqueza de gêneros e composição de gêneros de cogumelos significativamente influenciadas pelas variáveis ambientais e pela área de estudo. Considerou-se para a abundância o número de basidiomas coletados de cada gênero. Para isso utilizou-se as variáveis resposta abundância e riqueza de gêneros em cada ponto de coleta, assim como os *scores* de cada ponto nos dois primeiros eixos de uma Análise de Coordenadas Principais (PCoA), utilizando Jaccard como medida de distância. Esta análise foi realizada por meio de modelos lineares generalizados mistos

(GLMM), em que cada variável resposta foi incluída em um modelo global contendo todas as variáveis explanatórias, no molde: $Y \sim \text{site} + \text{latitude} + \text{longitude} + \text{temperatura} + \text{umidade relativa do solo} + \text{pH do solo} + \text{precipitação dos 7 dias anteriores} + (1|\text{tempo})$. Todas as variáveis explanatórias contínuas foram reescaladas com média zero para tornar seus coeficientes comparáveis. A categoria “tempo”, que se refere ao momento de coleta foi incluída como fator aleatório para controlar possíveis dependências temporais. As variáveis latitude e longitude foram incluídas como efeitos fixos para controlar possíveis influências espaciais. Deste modelo global, foram obtidas todas as combinações de modelos contendo variáveis não correlacionadas (critério de $|0.6|$) utilizando a função *dredge*. As combinações que apresentaram delta AICc (Critério de Akaike de Segunda Ordem) menor ou igual a 2 em relação ao melhor modelo foram selecionados para serem submetidos a uma inferência multimodelos (“*multi-model inference*”) (Burnham et al., 2011) para obtenção dos coeficientes e das significâncias. Quando a variável categórica “site” foi significativa, realizou-se ainda um *Least Squares means* (Lenth, 2018) para avaliar diferenças entre pares de sites ao nível de 5 % de significância. Todas as variáveis foram trabalhadas dentro da distribuição *gaussian* (mediante transformação por logaritmo natural para abundância), atendendo aos critérios de normalidade dos resíduos, homocedasticidade e ausência de autocorrelação espacial pela função *correlog* do pacote *ncf* (Bjørnstad, 2008). Em seguida, foram explorados os padrões de composição de gêneros do conjunto amostral, através do particionamento da dissimilaridade de Jaccard, obtido entre pontos de coleta em dois componentes da diversidade beta (Baselga 2010): *Turnover*, que se refere à substituição de espécies entre os dois pontos; e *Nestedness*, que corresponde a efeitos de envelopamento de conjuntos de gêneros. Os dois componentes juntos formam o valor total da dissimilaridade de Jaccard, e o seu particionamento permite avaliar qual dos dois componentes (*Turnover* e *Nestedness*) respondem pelo padrão encontrado. De posse dos valores dos dois componentes, avaliou-se a existência de diferenças significativas entre eles, através de um modelo linear com a distância (dissimilaridade) como variável resposta e a categoria componente (*Turnover* / *Nestedness*) como variável explanatória, respeitando os pressupostos de normalidade dos resíduos e homocedasticidade. A especificidade de gêneros também foi avaliada, quantificando quantos deles ocorrem somente em 1, 2, 3, 4, 5 ou 6 áreas, sua abundância total e sua abundância média por gênero.

Avaliou-se ainda os padrões de composição funcional dos cogumelos em relação ao substrato em que ocorrem (madeira, serrapilheira, solo e esterco), avaliando como a representatividade em gêneros e abundância das categorias variam entre as áreas. Para isso,

primeiro contabilizou-se o número de gêneros de cada categoria (substrato e combinação de substratos) em cada área, bem como as suas abundâncias, para possibilitar a avaliação das tendências de ocorrência e abundância de determinadas categorias associadas a determinadas áreas. Com os dados de ocorrência e abundância de gêneros foram elaborados Diagramas de Venn, assim como um heatmap para as áreas utilizando a porcentagem da abundância em relação a abundância total de cada área e de todas as áreas.

Todas as análises e figuras foram realizadas no ambiente R (R Core Team 2020), utilizando os pacotes *vegan* (Oksanen, 2020), *betapart* (Baselga, 2013), *ggplot2* (Kahle e Wickham, 2013), *gridExtra* (Augie, 2016), *VennDiagram* (Chen e Boutros, 2011) e *cowplot* (Wilke, 2017), *MuMIn* (Barton, 2016).

1. RESULTADOS

3.1 Riqueza de gêneros e composição

Ao todo, foram coletados 4575 basidiomas, distribuídos em 4 ordens, 26 famílias, 69 gêneros e 620 morfoespécies (ANEXO B). Agaricales foi a ordem com maior número de representantes (87%) e basidiomas (96,5%). Marasmiaceae apresentou maior abundância (2283), seguido de Mycenaceae (514) e Agaricaceae (442). Referente ao número de gêneros e morfoespécies, as famílias Agaricaceae (8/151), Mycenaceae (6/55) e Marasmiaceae (5/191) foram mais abundantes nas áreas de estudo. O gênero *Marasmius*, com maior representatividade (1951 basidiomas), apresentou também o maior número de morfoespécies (183), seguido de *Lepiota* (47) e *Mycena* (38). Dentre os gêneros com maior distribuição estão *Mycena*, em todas as áreas, *Marasmius*, *Agaricus*, *Gymnopus* e *Leucocoprinus*, em 5 áreas, *Bolbitius*, *Bovista*, *Coprinus*, *Entoloma*, *Geastrum sp*, *Hydropus*, *Lepiota*, *Leucoagaricus*, *Lycoperdon*, *Neoclitocybe*, *Oudemansiella*, *Pluteus*, *Psathyrella* e *Tetrapyrgos*, com ocorrência em 4 áreas. Em relação à riqueza de gêneros encontrada nas áreas de estudo, A1 apresentou maior riqueza de gêneros (48), seguido de A5 (33), A2 (30), A3 (29), A6 (13) e A4 (10). Se tratando da abundância total em cada área, A1 e A2 concentraram aproximadamente 2/3 dos basidiomas coletados ao longo desta pesquisa, A1 com 1563 e A2 com 1384, A5 com 854 e A3 568 e A6 com 163 e A4 com 43.

Utilizando como referência a base de dados speciesLink e o trabalho de Rosa e Capellari (2009), são considerados possíveis novos registros para o estado de Minas Gerais os seguintes gêneros: *Agrocybe*, *Bolbitius*, *Campanella*, *Clitocybe*, *Copelandia*, *Cystoderma*, *Cystolepiota*, *Filoboletus*, *Galerina*, *Gerronema*, *Hebeloma*, *Hemimycena*, *Inocybe*, *Lentinus*,

Morganella, *Neoclitocybe*, *Neofavolus*, *Panellus*, *Pholiotina*, *Resupinatus*, *Ripartitella*, *Smithiomyces*, *Stropharia* e *Tricholoma*. Os dados referentes aos gêneros e áreas de ocorrência podem ser acessados em um material suplementar em anexo (ANEXO C).

3.2 Influência de variáveis ambientais na estrutura e composição da comunidade de cogumelos

A abundância de basidiomas na unidade amostral foi significativamente influenciada pelas áreas de coleta ($p < 0.01$), pela precipitação dos últimos sete dias de forma positiva (Estimate = 0.21; $p = 0.03$), pela temperatura de forma negativa (Estimate = -0.29; $p < 0.01$) e pela umidade do solo de forma positiva (Estimate = 0.49; $p < 0.01$) (Figura 3). As variáveis espaciais (latitude e longitude) e pH do solo não influenciaram a abundância de forma significativa. Assim, a abundância de basidiomas é maior em situações de maiores precipitações, umidade do solo e de menor temperatura. Em relação às áreas, a maior abundância foi observada na área A1, seguido pela área A2, A5 e A3, e pelas áreas A6 e A4 com as menores abundâncias (Figura 3). A riqueza de gêneros foi influenciada significativamente somente pelas variáveis áreas de coleta ($p < 0.01$) e umidade relativa do solo de forma positiva (Estimate = 0.2; $p < 0.01$) (Figura 4), tendendo a ser maior em situações em que o solo apresenta maior umidade. Em relação às áreas de coleta, a riqueza de gêneros seguiu comportamento similar ao observado para a abundância, sendo maior nas áreas A1 e A2, seguido pelas áreas A5 e A3, e pelas áreas A6 e A4 com as menores riquezas (Figura 4). A composição de gêneros de cogumelos não foi influenciada significativamente pelas áreas de coleta ($p > 0.05$ para os dois eixos da PCoA), como é demonstrado pela ordenação por Análise de Coordenadas Principais (Figura 5 – esquerda) em que a maioria dos pontos não estão organizados em função da área. A área A6 agrupou-se no canto superior direito nos dois eixos, enquanto que A4 apresentou uma tendência para o lado direito. Os dois eixos da PCoA foram influenciados somente pelas variáveis temperatura, precipitação dos últimos sete dias e umidade do solo ($p < 0.01$ para todas as variáveis em relação aos dois eixos). Assim, segundo a análise aqui aplicada, a composição de gêneros é condicionada pelas características de temperatura e de umidade e precipitação no ponto de coleta, não estando associada à área de coleta e suas características. O padrão de composição observado está principalmente associado ao componente de diversidade beta de turnover, que é significativamente maior que o componente Nestedness ($p = 0.03$) (Figura 5), o que indica que os valores de dissimilaridade observados estão relacionados à substituição de gêneros entre pontos.

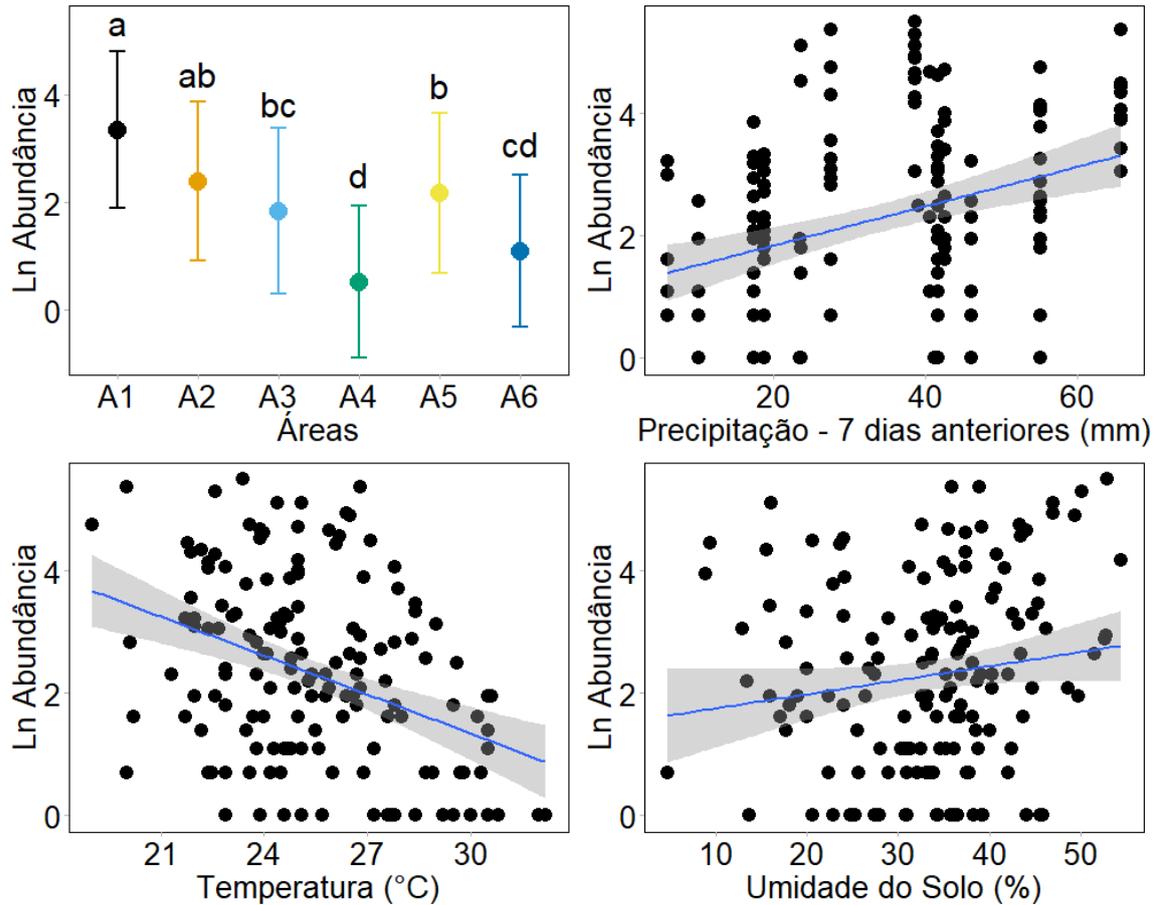


Figura 3: Resultados da análise por modelos lineares generalizados mistos (GLMM) para a abundância de basidiomas em função das variáveis significativas de cada área de coleta (figura superior esquerda), precipitação dos últimos sete dias (figura superior direita), temperatura (figura inferior esquerda) e umidade relativa do solo (figura inferior direita). Na figura superior esquerda, os pontos centrais representam os valores de médias pelo *LsMeans* e as barras o Standard Error obtido pela mesma análise. Nessa mesma figura tratamentos com a mesma letra não se diferenciam significativamente pelo *LsMeans test* ao nível de significância de 0.05.

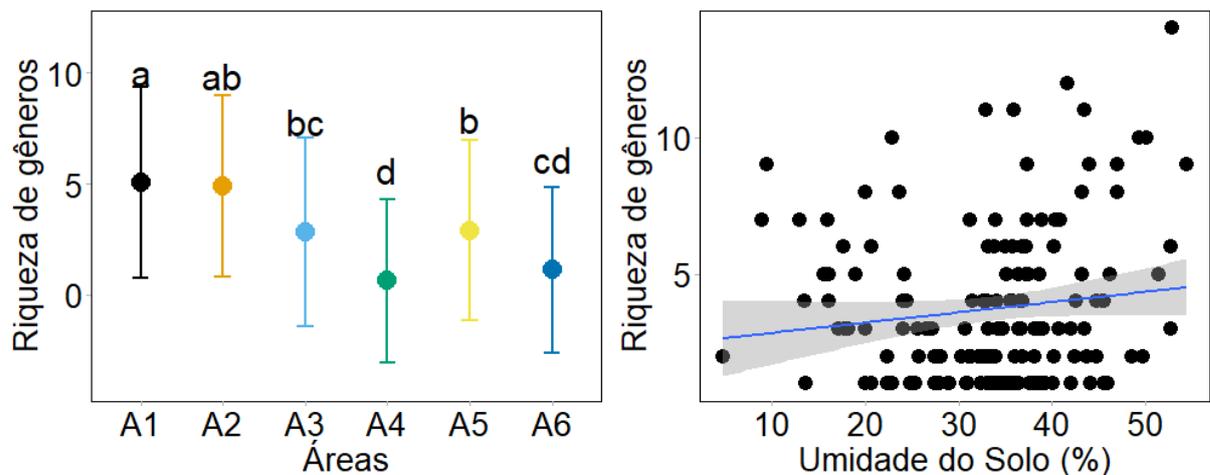


Figura 4: Resultados da análise por modelos lineares generalizados mistos (GLMM) para a riqueza de gêneros em função das variáveis significativas em cada área de coleta (figura à

esquerda), e umidade relativa do solo (figura à direita). Na figura à esquerda, os pontos centrais representam os valores de médias pelo *LsMeans* e as barras o Standard Error obtido pela mesma análise. Nessa mesma figura, tratamentos com a mesma letra não se diferenciam significativamente pelo *LsMeans test* ao nível de significância de 0.05.

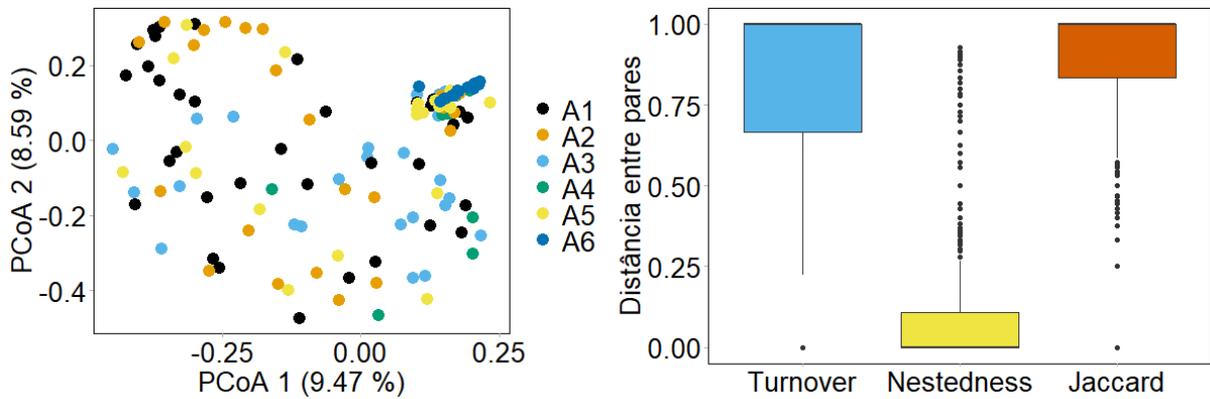


Figura 5: Análise de Coordenadas Principais (PCoA) para as comunidades de cogumelos dos seis sites de coleta, utilizando Jaccard como medida de distância; e boxplot de comparação dos componentes de diversidade beta da dissimilaridade de Jaccard para a matriz de distância total obtida.

O padrão de elevada especificidade de composição de gêneros é reforçado ainda pelo fato de que mais de um terço dos gêneros ocorre em somente uma das seis áreas (Tabela 2) e que somente 1 gênero ocorre em todas as áreas, com a tendência de menor riqueza de gêneros ocorrentes em múltiplas áreas. Estes gêneros específicos de uma área tendem a apresentar menor abundância, enquanto os gêneros ocorrentes em um número maior de áreas tendem a apresentar abundância média por gênero até 10 vezes maior (Tabela 2).

Tabela 2: Resultados gerais de riqueza de gêneros, abundância (Abund) total e abundância média por gênero para os gêneros ocorrentes em somente 1, 2, 3, 4, 5 e 6 das áreas de coleta, considerando todas as combinações entre eles.

Nº de áreas	Nº de gêneros	Nº de gêneros (%)	Abund	Abund (%)	Abund / gênero
1	29	42.02	150	3.27	5.17
2	11	15.94	161	3.51	14.63
3	10	14.4	380	8.3	38
4	14	20.28	1337	29.22	95.5
5	4	5.79	2288	50.01	572
6	1	1.44	259	5.66	259

3.3 Padrões da composição funcional da comunidade de cogumelos em resposta a características dos ambientes

Dentre os 69 gêneros observados, somente os gêneros *Inocybe*, *Laccaria*, *Leucopaxillus*, *Paxillus*, *Pisolithus*, *Scleroderma*, *Suillus* e *Tricholoma* são considerados como ectomicorrízicos (Sulzbacher et al., 2012). A maior parte das áreas apresentou maior riqueza de gênero distribuída entre os substratos serrapilheira, madeira e solo, com exceção de A6, onde predominaram cogumelos decompositores de estrume (Figura 6). Em A3, a maior riqueza de gêneros foi encontrada em madeira (9 gêneros), enquanto que nas áreas A1, A2, A4 e A5 o maior número de gêneros ocorreu em solo, serrapilheira e madeira. A área A6, como observado anteriormente, apresentou maior riqueza em esterco (10 gêneros).

Ao avaliar a abundância total em cada substrato para todas as áreas, sem considerar sua relação com o gênero, encontrou-se uma dominância na utilização de serrapilheira (58,2%), seguido de madeira (25%), solo (13,3%) e esterco (3,4%). Considerando os gêneros, a abundância ficou distribuída nas combinações madeira/serrapilheira (35%) e madeira/ solo/ serrapilheira (29%) (Figura 7). Isso demonstra que a disponibilidade de biomassa vegetal influenciou o desenvolvimento de cogumelos decompositores de madeira, galhos e folhas. Quando as áreas foram avaliadas separadamente, encontramos algumas diferenças. Em A3, a maior abundância de gêneros ocorreu em madeira/serrapilheira (42%), no entanto 40% dos cogumelos coletados nesta área colonizavam exclusivamente madeira. Em A1, observou-se maior abundância em madeira/solo/serrapilheira (69%), enquanto que em A2 e A5, observou-se predominância na utilização dos substratos madeira/serrapilheira (62% em A2 e 53%, em A5). A4 apresentou uma maior concentração de indivíduos em madeira/ solo (35%) e serrapilheira (33%). Por fim, A6 demonstrou uma maior abundância de gêneros em esterco (60%) e esterco/ madeira (31%) Os dados referentes à porcentagem da abundância de basidiomas de acordo com os substratos em que ocorreram e suas combinações, para cada uma das seis áreas, estão disponibilizados em um *heatmap* (Figura 8).

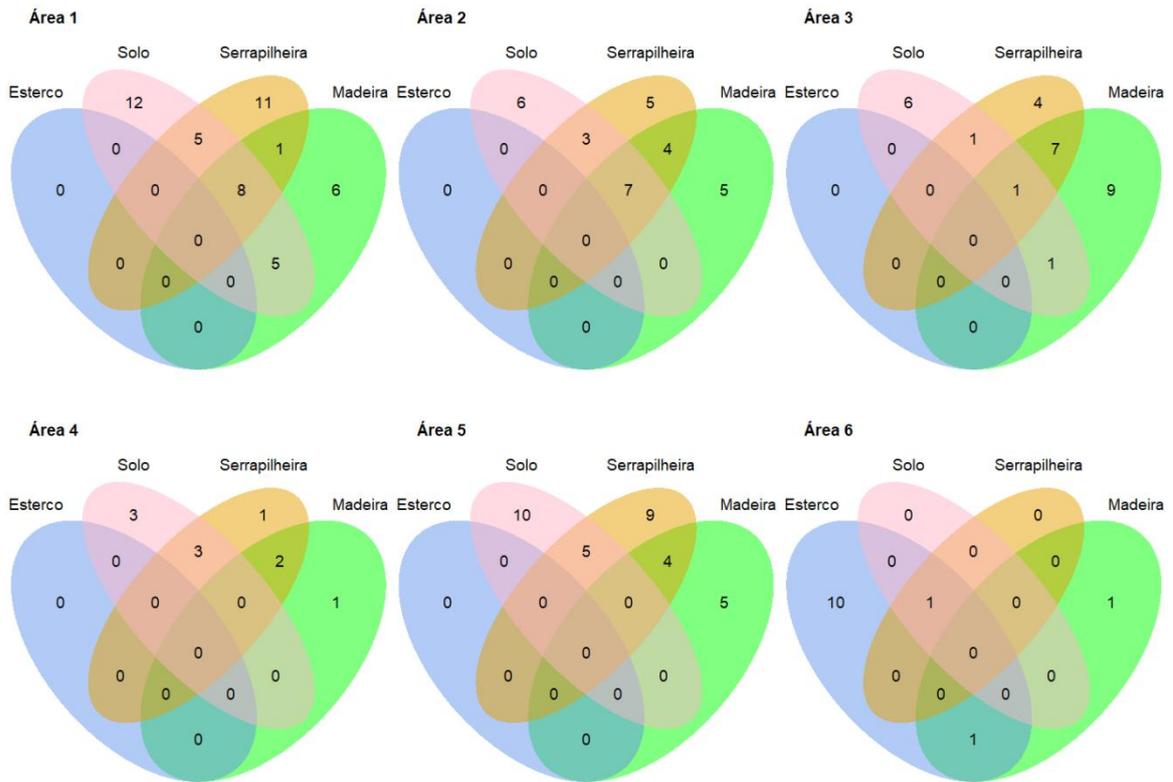


Figura 6: Diagramas de Venn para riqueza de gêneros para cada uma das 6 áreas, considerando os substratos em que ocorrem.

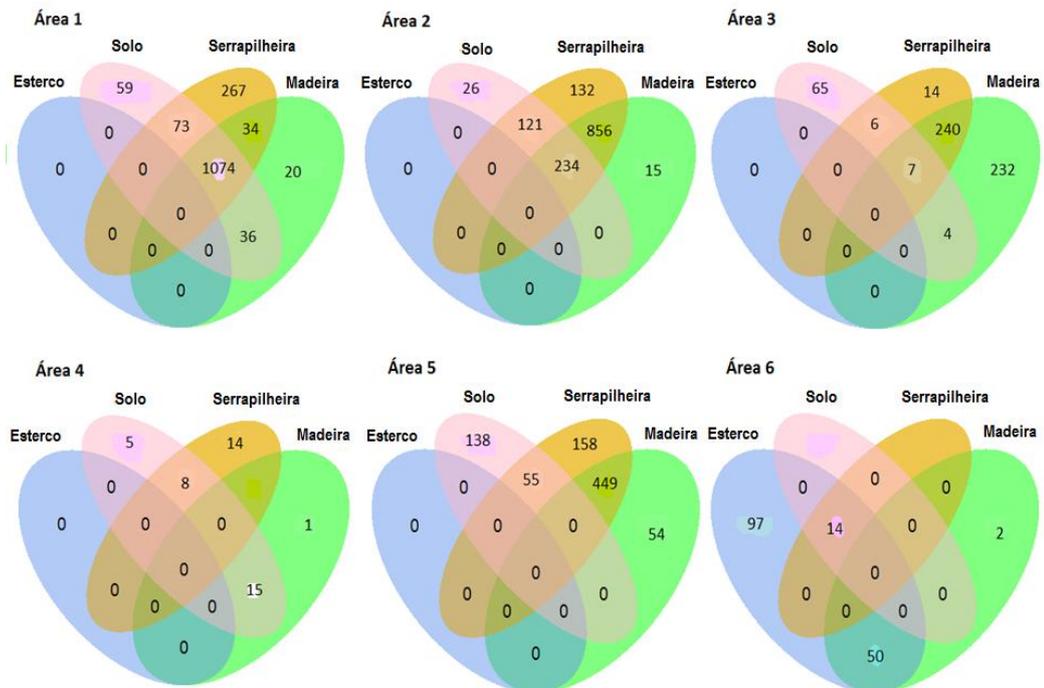


Figura 7. Diagramas de Venn para abundância de basidiomas para cada uma das 6 áreas, considerando os substratos em que ocorrem.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Total
Esterco	0%	0%	0%	0%	0%	60%	2%
Madeira	1%	1%	41%	2%	6%	1%	7%
Serrapilheira	17%	10%	2%	33%	19%	0%	13%
Solo	4%	2%	11%	12%	16%	0%	6%
Esterco - Madeira	0%	0%	0%	0%	0%	31%	1%
Esterco - Solo	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Madeira - Serrapilheira	2%	62%	42%	0%	53%	0%	35%
Madeira - Solo	2%	0%	1%	35%	0%	0%	1%
Solo - Serrapilheira	5%	9%	1%	19%	6%	0%	6%
Esterco - Solo - Serrapilheira	0%	0%	0%	0%	0%	9%	0%
Madeira - Solo - Serrapilheira	59%	17%	1%	0%	0%	0%	29%
Esterco - Madeira - Solo - Serrapilheira	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Figura 8: *Heatmap* para abundância de basidiomas nas 6 áreas de coleta em relação ao substrato que ocorreram e às suas combinações. As porcentagens presentes em cada célula se referem a sua abundância. As cores estão diferenciadas por site de coleta e sua intensidade faz referência a sua abundância relativa.

2. DISCUSSÃO

4.1 A baixa diversidade encontrada nos ambientes artificiais de vegetação exótica

Diferentemente das florestas naturais (A1 e A3) e dos ambientes florestais artificiais com espécies nativas (A2 e A5), as áreas com predomínio de vegetação exótica (A4 e A6) apresentaram a menor riqueza e abundância de cogumelos silvestres neste estudo. Estes resultados demonstram o quanto se perde em diversidade ao alterar ambientes de florestas naturais para o plantio de florestas plantadas e áreas de pastoreio. Em A4, a pobreza da composição florestal desfavoreceu, evidentemente, a diversidade de cogumelos silvestres. Karstedt e Sturmer (2008), em um estudo no estado de Santa Catarina, relataram menor riqueza em florestas implantadas de *Pinus*, quando comparadas à Mata Atlântica de floresta ombrófila mista, enquanto que Lazarotto et al. (2014) observaram baixa riqueza em florestas plantadas de *Eucalyptus*, quando comparadas a um fragmento de floresta estacional decidual no estado do Rio Grande do Sul.

De acordo com Lodge et al. (1995), estes resultados estão relacionados à baixa variedade de substratos nestas florestas, reflexo da baixa diversidade arbórea, o que torna a

matéria orgânica disponível ainda menos variada. Além do mais, florestas de *Pinus* e *Eucalyptus* costumam apresentar um dossel mais aberto, em comparação ao dossel de florestas naturais, o que proporciona maior entrada de raios solares e, conseqüentemente, uma maior evaporação da água disponível no solo e em outros substratos como madeira e serrapilheira, que são o microhabitat de vários cogumelos (Lazarotto et al., 2014). Por isso, quando comparadas com as florestas naturais, as quais apresentam maior diversidade florística e uma vasta gama de substratos, as florestas plantadas não são ambientes com uma alta diversidade de cogumelos. Outro fator importante é que florestas plantadas favorecem a ocorrência e abundância de cogumelos exóticos ectomicorrízicos, os quais adaptam-se melhor ao clima mais frio e úmido. Porém, este tipo de clima (frio úmido) não ocorre na região de estudo (Sulzbacher et al., 2013; Putzke e Putzke, 2019). Por exemplo, cogumelos do gênero *Amanita*, que são comuns neste tipo de habitat, não foram observados ao longo deste trabalho.

Na área de pastagem, há o predomínio de gramíneas exóticas (*Brachiaria spp*) com atividade de pastoreio e pouquíssimas árvores, o que torna o solo seco e compacto pelo pisoteio do gado, além da alta incidência de raios solares, que é considerada um fator negativo para o desenvolvimento de macrofungos (Sysouphanthong et al., 2010; Chen et al., 2018). Além do mais, a maior parte dos gêneros de cogumelos coletados nesta área é comum a qualquer outra área de pastagem no mundo.

Diferindo das florestas exóticas, os ambientes artificiais com espécies nativas (A2 e A5) apresentaram alta riqueza e abundância, quando comparados com os fragmentos de Mata Atlântica avaliados neste estudo. Isso demonstra que, mesmo que implantadas, as áreas florestais com espécies nativas em meio a zonas antropizadas são importantes para as comunidades de cogumelos silvestres. Neste estudo, o pequeno fragmento de mata nativa em regeneração apresentou a segunda maior riqueza de gêneros. Por fim, a maior riqueza e abundância de cogumelos foi observada em A1, um dos fragmentos de floresta estacional semidecidual montana que apresenta um maior perímetro em relação a reserva florestal (A3) e encontra-se mais distante de áreas urbanas. Além disso, a área está próxima de um açude, o que auxilia na manutenção da umidade local em períodos mais secos.

4.2 Variáveis ambientais e espaciais e sua relação com a composição, riqueza e abundância dos gêneros

Conforme relatado por outros autores (Buntgen et al., 2011; Tedersoo et al., 2014; Kutzegi et al., 2015; Goldmann et al., 2016; Li et al., 2018), as variáveis climáticas

temperatura e precipitação são consideradas os principais fatores influenciadores da comunidade de cogumelos. No entanto, em nosso estudo, estas variáveis não apresentaram correlação significativa com a riqueza de gêneros. Para a riqueza de gêneros, as variáveis umidade relativa do solo e características da área foram mais significantes. Isto pode estar relacionado às condições disponibilizadas pelos ambientes como aspectos do dossel, variedade de substratos e luminosidade, assim como a capacidade de manter a umidade no solo e substratos. Bhandari e Jha (2017) relataram o aumento da riqueza de acordo com o fechamento do dossel e umidade do solo, enquanto Shuhada et al. (2020) encontraram um aumento da riqueza em relação a riqueza de substratos e o tipo de habitat. Deste modo, embora as áreas estejam expostas a um mesmo macroclima, observou-se um viés em relação ao microclima. Ou seja, mesmo que expostas à mesma taxa de precipitação e temperatura, as características ambientais citadas acima participam na manutenção da umidade nestes ambientes, podendo influenciar na riqueza de cogumelos silvestres. Os índices de umidade do solo observados nesse estudo variaram entre 8,9 e 54,5%, com média de 33%.

A abundância de basidiomas apresentou correlação significativa com características de área e tendeu a ser maior conforme o aumento da precipitação e umidade relativa do solo, e declínio da temperatura. A correlação entre abundância, precipitação e características do ambiente corresponde ao observado por Adeyini et al. (2017). A região em estudo apresenta clima subtropical com altas temperaturas durante o dia no verão. A faixa de temperatura observada ao longo do estudo foi de 20 a 34 °C com média de 26 °C. Sabe-se que a temperatura é um importante fator no desenvolvimento de cogumelos, estando relacionada principalmente com sua atividade metabólica (Chang e Miles, 2004). De fato, variações térmicas aliadas a altas temperaturas podem interferir na atividade de enzimas importantes na decomposição dos substratos (Morris e Robertson, 2005). Além disso, altas temperaturas podem aumentar a taxa de evaporação e reduzir a disponibilidade de água (Straatsma et al., 2001).

Embora a composição da comunidade de cogumelos não tenha sido significativamente influenciada pelas características de área, os ambientes artificiais de vegetação exótica apresentaram certo agrupamento para o lado direito do gráfico, principalmente para a área A6. Isto ressalta a divergência destes ambientes em relação aos demais e os impactos das alterações ambientais na composição de gêneros, assim como na riqueza e abundância de basidiomas. O não agrupamento dos pontos das demais áreas pode ser explicado pela ausência de avaliação da composição florística em cada área. Este tipo de avaliação pode ser uma ferramenta esclarecedora sobre a composição de gêneros de um ambiente. Em outros

trabalhos, observou-se a correlação da composição da comunidade de cogumelos silvestres com características da vegetação, tais como tipo e qualidade de substrato, diversidade arbórea, altura do dossel e luminosidade (Kutzegi et al., 2015; Chen et al., 2018; Li et al., 2018; Shuahada et al., 2020; Tedersoo et al., 2014).

Embora alguns estudos tenham relatado correlação do pH do solo com a comunidade de cogumelos silvestres (O’hanlon e Harrington, 2012; Bhandari e Jha, 2017; Kutzegi et al., 2015; Zhang et al., 2016; Shuhada et al., 2020), o mesmo não foi observado em nossa pesquisa. A maioria dos fungos prefere condições mais ácidas, mas pode se desenvolver em uma ampla faixa de pH. Em geral, basidiomicetos tendem a apresentar baixo desenvolvimento em pH alcalino (Dix e Webster, 1995). A faixa de pH do solo observada nas áreas de estudo foi de 3.7 a 7.7 com média de 5.45. Estes valores se encontram dentro da variação observada por Chang e Miles (2004) para o desenvolvimento do micélio.

Em nosso trabalho, ao contrário dos resultados de Alday et al. (2017) e Chen et al. (2018), as variáveis latitude e longitude não apresentaram correlação significativa com nenhuma das características ecológicas avaliadas, ou seja, possivelmente a distribuição das comunidades de cogumelos é influenciada principalmente por aspectos microclimáticos na região avaliada.

4.3 Grupos funcionais e sua relação com a riqueza e abundância de gêneros

Tanto a riqueza quanto a abundância de gêneros se mostrou fortemente relacionada ao tipo de substrato. Nas áreas com uma melhor composição da vegetação (A1, A2, A3 e A5), verificou-se ocorrência e maior abundância de cogumelos capazes de decompor substratos lignícolas/celulósicos como madeira, galhos e folhas. A família Marasmiaceae, em especial o gênero *Marasmius*, predominou em serrapilheira. Outros gêneros foliculo/lignícolas como, *Gymnopus*, *Mycena*, *Neoclitocybe* e *Tetrapyrgos* foram comumente observados nestas áreas. Além destes, gêneros como *Hohenbuehelia*, *Ressupinatus*, *Pleurotus*, *Pluteus* e *Polyporus* foram observados com maior abundância em madeira. *Hohenbuehelia* e *Pleurotus* estão entre os macrofungos capazes de realizar a decomposição primária da madeira devido a sua capacidade de degradar lignina e resistir à baixa concentração de nitrogênio, abrindo caminho para decompositores secundários como *Pluteus* e *Psathyrella* (Dix e Webster, 1995). Em solo, terceiro substrato com maior abundância, gêneros como *Agaricus*, *Geastrum*, *Lepiota*, *Leucoagaricus*, *Leucocoprinus* e *Ripartitella* foram coletados em maior quantidade. Na pastagem, os gêneros *Coprinus*, *Copelandia*, *Panaeolus* e *Psilocybe* foram observados com

maior abundância, associados à sua capacidade de decomposição de esterco (Dix e Webster, 1995).

Os resultados deste estudo correspondem, de certa forma, com trabalhos realizados em outras localidades. Adeniyi et al. (2018) observaram 54% dos cogumelos avaliados em substratos lignícolas e 45% em ambiente terrestre, em floresta tropical na Nigéria. Chen et al. (2018) relataram maior ocorrência em solo e madeira em decomposição em florestas decíduas temperadas. Kutzege et al. (2015) observaram influência significativa da composição vegetal na composição de espécies de cogumelos saprófitas terrestres e lignícolas, relacionando-se às características da serrapilheira e dos troncos de árvores em decomposição. Conforme observado por Ferrer e Gilbert (2003), plantas lenhosas tem papel importante na composição das comunidades de cogumelos. Com o aumento de plantas lenhosas, a taxa de sucesso na colonização tende a aumentar, uma vez que traz uma variedade de habitats. Provavelmente por esta condição, a comunidade de cogumelos encontrou-se em maior riqueza e abundância nos substratos serrapilheira e madeira na região de estudo.

Por fim, a fragmentação e perda de habitat são fatores que influenciam na capacidade de dispersão dos cogumelos, causando impactos na riqueza de espécies, como também na composição da comunidade em geral (Abrego e Salcedo, 2015; Chen et al., 2018). A avaliação de padrões ecológicos envolvendo cogumelos é uma ferramenta importante na indicação de perturbações em um ecossistema, podendo ser utilizada também na definição de locais prioritários para a conservação da biodiversidade, levando em consideração que fungos são organismos cuja diversidade geralmente se assemelha à diversidade total de uma área (Feest, 2006, 2013; Tóth e Barta, 2010). Estudos como este, baseados na coleta de basidiomas, podem trazer informações importantes a respeito da comunidade de cogumelos e ajudar no entendimento e avaliação dos processos ecossistêmicos de uma floresta, como a participação na decomposição de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, aspectos envolvendo cadeia alimentar, mineralização do solo e relações simbióticas com plantas (Straastma et al., 2001; Tóth e Barta, 2010).

5. CONCLUSÃO

Conforme o exposto neste estudo, os impactos da degradação da Mata Atlântica nas comunidades de cogumelos silvestres são evidentes e desastrosos. A degradação de florestas nativas para a implantação de florestas exóticas e áreas de pastoreio acarreta na perda significativa de diversidade. Em geral, os fatores microclimáticos avaliados apresentaram

influência positiva na riqueza, abundância e composição da comunidade de cogumelos silvestres e parecem estar associados às características ambientais. No entanto, estudos envolvendo a composição florística são necessários para tal afirmação. Evidenciamos também uma forte relação do tipo de substrato com os parâmetros ecológicos, em que áreas com cobertura vegetal nativa apresentaram maior riqueza e abundância de basidiomas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos como este, que aliam a avaliação de padrões ecológicos às comunidades de cogumelos silvestres, são raros no Brasil. No entanto, são capazes de indicar perturbações ambientais e também auxiliar na definição de locais prioritários para a conservação da biodiversidade. A utilização de análises moleculares envolvendo as comunidades presentes no solo, por não estar ligada a sazonalidade, pode contribuir para um maior esclarecimento de padrões ecológicos relacionados ao grupo. Por fim, os resultados deste trabalho são relevantes, pois ampliam o conhecimento sobre a ecologia e diversidade de cogumelos silvestres na região, demonstrando sua importância como bioindicadores, e alertando para a delicada situação do domínio Mata Atlântica.

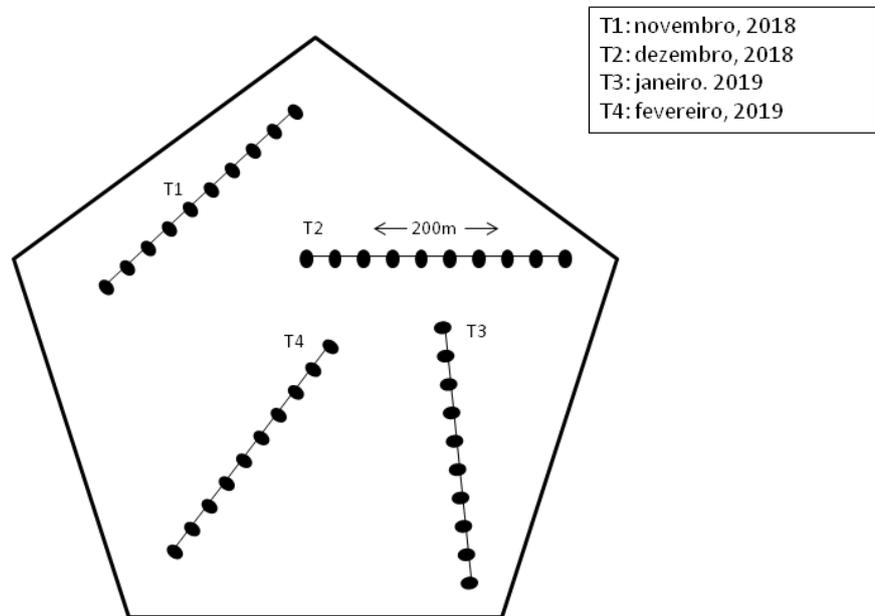
REFERÊNCIAS

- Abrego, N., Salcedo, I., 2011. How does fungal diversity change based on woody debris type? A case study in Northern Spain. *Ekologija*. 57, 109–119. <https://doi.org/10.6001/ekologija.v57i3.1916>
- Adeniyi, M., Odeyemi, Y., Odeyemi, O., 2018. Ecology, diversity and seasonal distribution of wild mushrooms in a nigerian tropical forest reserve. *Biodiversitas*. 19, 285–295. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190139>
- Alday, J.G., Martínez De Aragón, J., De-Miguel, S., Bonet, J.A., 2017. Mushroom biomass and diversity are driven by different spatio-Temporal scales along Mediterranean elevation gradients. *Sci. Rep.* 7, 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep45824>
- Ambrosio, E., Mariotti, M.G., Zotti, M., Cecchi, G., Di Piazza, S., Feest, A., 2018. Measuring macrofungal biodiversity quality using two different survey approaches: A case study in broadleaf Mediterranean forests. *Ecol. Indic.* 85, 1210–1230. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.054>
- Auguie, B., 2016. gridExtra: Miscellaneous functions for “Grid” graphics. R package version 2.3. 2016.
- Bhandari, B., Jha, S.K., 2018. Comparative study of macrofungi in different patches of Boshan Community Forest in Kathmandu, Central Nepal. *Bot. Orient. J. Plant Sci.* 11, 43–48. <https://doi.org/10.3126/botor.v11i0.21032>
- Barton, K., 2016. MuMIn: multi-model inference. R package version 1. 0. 0. <http://r-forge.r-project.org/projects/mumin/>, 2009.
- Baselga, A., 2010. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Glob Ecol Biogeogr.* 19(1), 134–143. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>
- Baselga, A., 2013. Betapart-package: partitioning beta diversity into turnover and nestedness components. R package version 1.3. <https://CRAN.R-project.org/package=betapart>.
- Braga, R.M., Sousa, F.F., De Venturin, N., Braga, F.D.A., 2016. Biomassa e atividade microbiana sob diferentes coberturas florestais. *Cerne*. 22, 137–144. <https://doi.org/10.1590/01047760201622022083>
- Büntgen, U., Kauserud, H., Egli, S., 2012. Linking climate variability to mushroom productivity and phenology. *Front. Ecol. Environ.* 10, 14–19. <https://doi.org/10.1890/110064>
- Burnham, K. P., Anderson, D. R., Huyvaert, K. P., 2011. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 65 (1), 23–35.
- Bjornstad, O., 2008. The ncf Package: spatial nonparametric covariance functions. 2008.
- Chang, S.T., Miles, P.G., 2004. *Mushrooms. Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact*, second ed. CRC press, NewYork.
- Chen, H., Boutros, P.C., 2011. VennDiagram: a package for the generation of highly-customizable Venn and Euler diagrams in R. *BMC bioinformatics*. 12 (1), 35.
- Chen, Y., Svenning, J.C., Wang, X., Cao, R., Yuan, Z., Ye, Y., 2018. Drivers of macrofungi community structure differ between soil and rotten-wood substrates in a temperate mountain

- forest in China. *Front. Microbiol.* 9, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00037>
- Dix, N.J., Webster, J., 1995. Structural of fungal communities, in: Dix, N.J., Webster, J., *Fungal Ecology*. Springer-Science+Business Media, B.V, pp. 39-80.
- Feest, A., 2006. Establishing baseline indices for the quality of the biodiversity of restored habitats using a standardized sampling process. *Restor. Ecol.* 14, 112–122. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2006.00112.x>
- Feest, A., 2013. The utility of the Streamlining European Biodiversity Indicators 2010 (SEBI 2010). *Ecol. Indic.* 28, 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.015>
- Ferrer, A., Gilbert, G.S., 2003. Effect of tree host species on fungal community composition in a tropical rain forest in Panama. *Divers. Distrib.* 9, 455–468. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2003.00039.x>
- Goldmann, K., Schröter, K., Pena, R., Schöning, I., Schrupf, M., Buscot, F., Polle, A., Wubet, T., 2016. Divergent habitat filtering of root and soil fungal communities in temperate beech forests. *Sci. Rep.* 6. <https://doi.org/10.1038/srep31439>
- He, M.Q., Zhao, R.L., Hyde, K.D., Begerow, D., Kemler, M., Yurkov, A., McKenzie, E.H.C., Raspé, O., Kakishima, M., Sánchez-Ramírez, S., Vellinga, E.C., Halling, R., Papp, V., Zmitrovich, I. V., Buyck, B., Ertz, D., Wijayawardene, N.N., Cui, B.K., Schoutteten, N., Liu, X.Z., Li, T.H., Yao, Y.J., Zhu, X.Y., Liu, A.Q., Li, G.J., Zhang, M.Z., Ling, Z.L., Cao, B., Antonín, V., Boekhout, T., da Silva, B.D.B., De Crop, E., Decock, C., Dima, B., Dutta, A.K., Fell, J.W., Geml, J., Ghobad-Nejad, M., Giachini, A.J., Gibertoni, T.B., Gorjón, S.P., Haelewaters, D., He, S.H., Hodkinson, B.P., Horak, E., Hoshino, T., Justo, A., Lim, Y.W., Menolli, N., Mešić, A., Moncalvo, J.M., Mueller, G.M., Nagy, L.G., Nilsson, R.H., Noordeloos, M., Nuytinck, J., Orihara, T., Ratchadawan, C., Rajchenberg, M., Silva-Filho, A.G.S., Sulzbacher, M.A., Tkalčec, Z., Valenzuela, R., Verbeken, A., Vizzini, A., Wartchow, F., Wei, T.Z., Weiß, M., Zhao, C.L., Kirk, P.M., 2019. Notes, outline and divergence times of Basidiomycota, *Fungal Diversity*. <https://doi.org/10.1007/s13225-019-00435-4>
- Joly, C.A., Metzger, J.P., Tabarelli, M., 2014. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: Ecological findings and conservation initiatives. *New Phytol.* 204, 459–473. <https://doi.org/10.1111/nph.12989>
- Largent, D.L., Suntz, D.E., Hadley, S., 1986a. How to identify mushrooms to genus III: microscopic features, third ed. Mad River, California.
- Largent, D.L., Suntz, D.E., Hadley, S., 1986b. How to identify mushrooms to genus I: macroscopic features. I, second ed. Mad River, California.
- Kahle, D., Wickham, H., 2013. ggmap: Spatial Visualization with ggplot2. *The R journal.* 5 (1), 144–161.
- Kirk, P.M., Cannon, P., Minter, D., Stalpers, J., 2008. *Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi*, 10th ed. CABI International, Wallingford, UK.
- Lenth, R., Lenth, M.R., 2018. Package ‘lsmeans’. *The American Statistician.* 34 (4), 216–221.
- Luo, X., Karunarathna, S.C., Luo, Y.H., Xu, K., Xu, J.C., Chamyuang, S., Mortimer, P.E., 2016. Drivers of macrofungal composition and distribution in Yulong Snow Mountain, southwest China. *Mycosphere.* 7, 727–740. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/7/6/3>

- Maia, L.C., De Carvalho Júnior, A.A., Cavalcanti, L.D.H., Gugliotta, A.D.M., Drechsler-Santos, E.R., Santiago, A.L.M.D.A., Cáceres, M.E.D.S., Gibertoni, T.B., Aptroot, A., Giachini, A.J., Soares, A.M.D.S., Silva, A.C.G., Magnago, A.C., Goto, B.T., De Lira, C.R.S., Montoya, C.A.S., Pires-Zottarelli, C.L.A., Da Silva, D.K.A., Soares, D.J., Rezende, D.H.C., Luz, E.D.M.N., Gumboski, E.L., Wartchow, F., Karstedt, F., Freire, F.M., Coutinho, F.P., De Melo, G.S.N., Sotão, H.M.P., Baseia, I.G., Pereira, J., De Oliveira, J.J.S., Souza, J.F., Bezerra, J.L., Araujo Neta, L.S., Pfenning, L.H., Gusmão, L.F.P., Neves, M.A., Capelari, M., Jaeger, M.C.W., Pulgarín, M.P., Junior, N.M., De Medeiros, P.S., Friedrich, R.C.S., Chikowski, R.D.S., Pires, R.M., Melo, R.F., Da Silveira, R.M.B., Urrea-Valencia, S., Cortez, V.G., Da Silva, V.F., 2015. Diversity of brazilian fungi. *Rodriguesia*. 66, 1033–1045. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566407>
- Morris, S.J., Robertson, G.P., 2005. Linking function between scales of resolution, in: Dighton, J. F.W., Oudemans, P. (Eds.), *The Fungal community: its organization and role in the ecosystem*. CRC Press Taylor and Francis Group, New York, pp 22.
- Neto, S.D., Venturin, N., Oliveira filho, A.T. DE., Costa, F.A.F., 1998. Avifauna de quatro fisionomias florestais de pequeno tamanho (5-8 ha) no campus da UFLA. *Rev. Bras. Biol.* 58, 463–472. <https://doi.org/10.1590/s0034-71081998000300011>
- Neves, D.M., Dexter, K.G., Pennington, R.T., Valente, A.S.M., Bueno, M.L., Eisenlohr, P. V., Fontes, M.A.L., Miranda, P.L.S., Moreira, S.N., Rezende, V.L., Saiter, F.Z., Oliveira-Filho, A.T., 2017. Dissecting a biodiversity hotspot: The importance of environmentally marginal habitats in the Atlantic Forest Domain of South America. *Divers. Distrib.* 23, 898–909. <https://doi.org/10.1111/ddi.12581>
- O’Hanlon, R., Harrington, T.J., 2012. Macrofungal diversity and ecology in four Irish forest types. *Fungal Ecol.* 5, 499–508. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2011.12.008>
- Oksanen, J., Blanchet, F.J., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P.R., O’Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., Szoecs, E., Wagner, H., 2020. *Vegan: community ecology package*. R package version 2.4-2. <https://cran.r-project.org/package=vegan>.
- Putzke, J., Putzke, M.T.L., 2017. *Cogumelos: fungos Agaricales no Brasil, volume 1, Famílias Agaricaceae, Amanitaceae, Bolbitaceae, Entolomataceae, Coprinaceae/Psathyrellaceae, Crepidotaceae e Hygrophoraceae*. e-book, São Gabriel.
- Putzke, J., Putzke, M.T.L., 2019. *Cogumelos: fungos Agaricales no Brasil, volume 2, Ordens Boletales (Boletaceae, Paxillaceae), Polyporales (Lentinaceae/Pleurotaceae, Polyporaceae), Russulales (Russulaceae) e Agaricales (Cortinariaceae, Inocybaceae, Pluteaceae e Strophariaceae)*. e-book, São Gabriel.
- Rezende, C.L., Scarano, F.R., Assad, E.D., Joly, C.A., Metzger, J.P., Strassburg, B.B.N., Tabarelli, M., Fonseca, G.A., Mittermeier, R.A., 2018. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspect. Ecol. Conserv.* 16, 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002>
- Ribeiro, M.C., Metzger, J.P., Martensen, A.C., Ponzoni, F.J., Hirota, M.M., 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biol. Conserv.* 142, 1141–1153. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>
- R Core Team (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rosa, L.H., Capelari, M., 2009. Agaricales fungi from Atlantic Rain Forest fragments in Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*. 40, 846–851.

- Shuhada, S.N., Salim, S., Nobilly, F., Lechner, A.M., Azhar, B., 2020. Conversion of peat swamp forest to oil palm cultivation reduces the diversity and abundance of macrofungi. *Glob. Ecol. Conserv.* 23, e01122. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01122>
- Straatsma, G., Ayer, F., Egli, S., 2001. Species richness, abundance, and phenology of fungal fruit bodies over 21 years in a Swiss forest plot. *Mycol. Res.* 105, 515–523. <https://doi.org/10.1017/S0953756201004154>
- Sulzbacher, M., Grebenc, T., Jacques, R., Antonioli, Z., 2012. Ectomycorrhizal fungi from southern Brazil – a literature-based review, their origin and potential hosts. *Mycosphere.* 4, 61–95. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/4/1/5>
- Sysouphanthong, P., Thongkantha, S., Zhao, R., Soyong, K., Hyde, K.D., 2010. Mushroom diversity in sustainable shade tea forest and the effect of fire damage. *Biodivers. Conserv.* 19, 1401–1415. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9769-1>
- Teixeira, P.C., Donagemma, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G., 2017. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa - CNPS, third edition, Rio de Janeiro.
- Tedersoo, L., May, T.W., Smith, M.E., 2010. Ectomycorrhizal lifestyle in fungi: Global diversity, distribution, and evolution of phylogenetic lineages. *Mycorrhiza.* 20, 217–263. <https://doi.org/10.1007/s00572-009-0274-x>
- Tedersoo, L., Bahram, M., Pölme, S., Kõljalg, U., Yorou, N.S., Wijesundera, R., Ruiz, Villarreal, Vasco-Palacios, L., Quang Thu, A.-M., Suija, P., Smith, A., Sharp, M.E., Saluveer, C., Saitta, E., Rosas, A., Riit, M., Ratkowsky, T., Pritsch, D., Pöldmaa, K., Piepenbring, K., Phosri, M., Peterson, C., Parts, M., Pärtel, K., Otsing, K., Nouhra, E., Njouonkou, E., Henrik Nilsson, A.L., Morgado, R., Mayor, L.N., May, J., Majuakim, T.W., Lodge, L., See Lee, D.J., Larsson, S., Kohou, K.-H., t, P., Hosaka, K., Hiiesalu, I., Henkel, T.W., Harend, H., Guo, L.-d., Greslebin, A., Grelet, G., Geml, J., Gates, G., Dunstan, W., Dunk, C., Drenkhan, R., Dearnaley, J., De Kesel, A., Dang, T., Chen, X., Buegger, F., Brearley, F.Q., Bonito, G., Anslan, S., Abell, S., Abarenkovet, K., 2014. Global diversity and geography of soil fungi. *Science.* 342 (6213), 1256688. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1256688>.
- Tóth, B.B., Barta, Z., 2010. Ecological studies of ectomycorrhizal fungi: An analysis of survey methods. *Fungal Divers.* 45, 3–19. <https://doi.org/10.1007/s13225-010-0052-2>
- Trappe, J.M., Rossman, A.Y., Tulloss, R.E., O'Dell, T.E., Thorn, R.G., 1998. Protocols for an All Taxa Biodiversity Inventory of Fungi in a Costa Rican Conservation Area, *Mycologia.* <https://doi.org/10.2307/3761287>
- Webster, J., Weber, R., 2007. Introduction to fungi, , third ed .Cambridge University Press, New York.
- Wilke, Claus., 2017. O. cowplot: Streamlined Plot Theme and Plot Annotations for “ggplot2”. R package version 0.9. 4.
- Zhang, T., Wang, N.F., Liu, H.Y., Zhang, Y.Q., Yu, L.Y., 2016. Soil pH is a key determinant of soil fungal community composition in the Ny-Ålesund Region, Svalbard (High Arctic). *Front. Microbiol.* 7, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00227>

ANEXO A – Metodologia de coleta

Metodologia adaptada de Feest, 2006.

ANEXO B – As famílias e números de gêneros, morfoespécies e abundância de basidiomas coletados neste estudo.

Família	N° de gêneros	N° de morfoespécies	Abundância
Agaricaceae	8	151	442
Auriculariaceae	1	1	8
Bolbitaceae	3	10	54
Entolomataceae	1	26	95
Geastraceae	1	5	78
Hydnangiaceae	1	1	5
Hygrophoraceae	1	2	3
Hymenogastraceae	4	14	70
Incertae sedis	11	34	325
Inocybaceae	1	2	3
Lycoperdaceae	3	15	38
Marasmiaceae	5	191	2283
Mycenaceae	6	55	514
Omphalotaceae	2	33	164
Paxillaceae	1	1	7
Physalacriaceae	2	14	28
Pleurotaceae	3	10	173
Plutaceae	2	19	42
Polyporaceae	3	12	50
Psathyrelaceae	2	9	132
Schizophyllaceae	1	1	5
Sclerodermataceae	2	5	6
Strophariaceae	2	6	37
Suillaceae	1	1	10
Tricholomataceae	2	2	3
TOTAL	69	620	4575

ANEXO C - Distribuição e abundância dos gêneros observados em cada área de coleta.

Família	Gênero	N° de morfo.	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Agaricaceae	<i>Agaricus sp</i>	29	10	14	7	2	1	0
Agaricaceae	<i>Coprinus sp</i>	14	3	19	0	0	3	14
Agaricaceae	<i>Cystolepiota sp</i>	1	2	0	0	0	0	0
Agaricaceae	<i>Lepiota sp</i>	47	26	48	11	0	7	0
Agaricaceae	<i>Leucoagaricus sp</i>	33	41	23	6	0	2	0
Agaricaceae	<i>Leucocoprinus sp</i>	24	153	16	6	4	16	0
Agaricaceae	<i>Macrolepiota sp</i>	2	3	0	0	0	0	0
Agaricaceae	<i>Smithiomyces sp</i>	1	0	0	0	0	5	0
Auriculariaceae	<i>Auricularia sp</i>	1	0	0	8	0	0	0
Bolbitaceae	<i>Bolbitius sp</i>	4	3	1	0	0	38	1
Bolbitaceae	<i>Conocybe sp</i>	3	0	0	2	0	1	3
Bolbitaceae	<i>Pholiotina sp</i>	3	2	0	1	0	0	2
Entolomataceae	<i>Entoloma sp</i>	26	21	66	7	1	0	0
Geastraceae	<i>Geastrum sp</i>	5	22	22	28	0	6	0
Hydnangiaceae	<i>Laccaria sp</i>	1	5	0	0	0	0	0
Hygrophoraceae	<i>Hygrocybe sp</i>	2	2	0	1	0	0	0
Hymenogastraceae	<i>Galerina sp</i>	1	0	0	1	0	0	0
Hymenogastraceae	<i>Gymnopilus sp</i>	1	0	1	0	0	0	0
Hymenogastraceae	<i>Hebeloma sp</i>	2	0	0	0	0	0	15
Hymenogastraceae	<i>Pscilocybe sp</i>	10	1	0	2	0	0	50
Incertae sedis	<i>Lactocollybia sp</i>	1	0	2	0	0	0	0
Incertae sedis	<i>Lepista sp</i>	1	0	0	0	0	2	0
Incertae sedis	<i>Copelandia sp</i>	2	0	0	0	0	0	17
Incertae sedis	<i>Clitocybe sp</i>	2	8	0	0	0	0	0
Incertae sedis	<i>Cystoderma sp</i>	1	0	0	0	0	1	0
Incertae sedis	<i>Gerronema sp</i>	10	5	59	0	0	7	0
Incertae sedis	<i>Neoclitocybe sp</i>	8	9	6	5	0	129	0
Incertae sedis	<i>Omphalina sp</i>	1	0	0	0	0	1	0
Incertae sedis	<i>Panaeolus sp</i>	5	1	0	0	0	0	19
Incertae sedis	<i>Ripartitella sp</i>	1	9	0	25	0	0	0
Incertae sedis	<i>Trogia sp</i>	2	0	20	0	0	0	0
Inocybaceae	<i>Inocybe sp</i>	2	3	0	0	0	0	0
Lycoperdaceae	<i>Bovista sp</i>	6	5	6	0	1	1	0
Lycoperdaceae	<i>Lycoperdon sp</i>	7	3	0	3	1	13	0
Lycoperdaceae	<i>Morganella sp</i>	2	1	4	0	0	0	0
Marasmiaceae	<i>Campanella sp</i>	1	8	0	0	0	0	0
Marasmiaceae	<i>Crinipellis sp</i>	2	0	3	0	0	3	0
Marasmiaceae	<i>Marasmius sp</i>	183	748	764	149	13	277	0
Marasmiaceae	<i>Micromphale sp</i>	1	0	0	0	0	4	0
Marasmiaceae	<i>Tetrapyrgos sp</i>	4	228	78	5	0	3	0
Mycenaceae	<i>Favolaschia sp</i>	1	1	0	0	0	0	0
Mycenaceae	<i>Filoboletus sp</i>	3	0	6	0	0	0	0

Mycenaceae	<i>Hemimycena sp</i>	1	12	0	0	0	0	0
Mycenaceae	<i>Hydropus sp</i>	11	81	10	33	0	108	0
Mycenaceae	<i>Mycena sp</i>	38	34	81	60	2	57	25
Mycenaceae	<i>Panellus sp</i>	1	4	0	0	0	0	0
Omphalotaceae	<i>Gymnopus sp</i>	30	18	55	5	14	16	0
Omphalotaceae	<i>Marasmiellus sp</i>	3	2	39	0	0	15	0
Paxillaceae	<i>Paxillus sp</i>	1	7	0	0	0	0	0
Physalacriaceae	<i>Cyptotrampa sp</i>	1	1	0	1	0	7	0
Physalacriaceae	<i>Oudemansiella sp</i>	13	6	7	4	0	2	0
Pleurotaceae	<i>Hohenbuehelia sp</i>	4	3	0	123	0	3	0
Pleurotaceae	<i>Pleurotus sp</i>	3	2	0	2	0	0	0
Pleurotaceae	<i>Ressupinatus sp</i>	3	0	0	37	0	0	3
Plutaceae	<i>Pluteus sp</i>	18	14	4	22	0	1	0
Plutaceae	<i>Volvariella sp</i>	1	1	0	0	0	0	0
Polyporaceae	<i>Lentinus sp</i>	7	1	23	0	0	0	2
Polyporaceae	<i>Neofavolus sp</i>	1	0	0	3	0	0	0
Polyporaceae	<i>Polyporus sp</i>	4	13	5	3	0	0	0
Psathyrelaceae	<i>Parasola sp</i>	2	1	0	0	0	1	0
Psathyrelaceae	<i>Psathyrella sp</i>	7	17	1	0	0	111	1
Schizophyllaceae	<i>Schizophillum sp</i>	1	0	0	0	0	5	0
Sclerodermataceae	<i>Pisolithus sp</i>	2	0	0	0	2	0	0
Sclerodermataceae	<i>Scloderma sp</i>	3	2	1	0	0	1	0
Strophariaceae	<i>Agrocybe sp</i>	4	16	0	8	0	0	0
Strophariaceae	<i>Stropharia sp</i>	2	0	2	0	0	0	11
Suillaceae	<i>Suillus sp</i>	1	0	0	0	3	7	0
Tricholomataceae	<i>Leucopaxillus sp</i>	1	1	0	0	0	0	0
Tricholomataceae	<i>Tricholoma sp</i>	1	2	0	0	0	0	0