

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituto de Biociências

Programa de Pós-Graduação em Botânica

Tese de Doutorado

Estudo da comunidade de fungos gasteroides (Agaricomycetes,
Basidiomycota) em três ecossistemas da Mata Atlântica da Região Sul do
Brasil

Camila Ribeiro Alves

Porto Alegre, Março de 2017.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituto de Biociências

Programa de Pós-Graduação em Botânica

Tese de Doutorado

Estudo da comunidade de fungos gasteroides (Agaricomycetes, Basidiomycota) em três ecossistemas da Mata Atlântica da Região Sul do Brasil

Tese apresentada ao **Programa de Pós-Graduação em Botânica**, Área de Concentração em **Taxonomia Vegetal (Micologia e Ficologia)**, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Ciências (Botânica)**.

Orientadora Prof^a Dr^a Rosa Mara Borges da Silveira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Co-orientador Prof. Dr. Carlos Urcelay
Universidade Nacional de Córdoba -Argentina

Porto Alegre, Março de 2017.

“Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim decidir entre rir ou chorar, ir ou ficar;
desistir ou lutar, porque descobri no caminho incerto da vida, que o mais importante é o
decidir.”

Cora Coralina

Agradecimentos

Acima de tudo, gostaria de agradecer a minha família por todo apoio e incentivo em todas as etapas da minha carreira acadêmica até o momento, me desculpar pelos momentos de ausência e fases de instabilidade. Mas um agradecimento mais que especial, é a senhora Carmen M. Ribeiro - minha mãe – pois sem os ensinamentos, orientações e dedicação dela durante minha educação como pessoa, eu não estaria hoje terminando o presente curso. Muito obrigada mãe, pelo teu amor e dedicação, minha orientadora da vida!!! Também não posso deixar de agradecer o carinho da casula, Amanda R. Alves. Além de também dedicar esse trabalho ao meu pai, que mesmo não estando mais entre nós, tenho certeza que estaria muito feliz com o término de mais uma etapa.

Agradeço também, aos professores Dra. Rosa Mara Borges da Silveira e Dr. Carlos Urcelay pelo aceite em me orientar no presente trabalho. Obrigada pelo conhecimento e experiências adquiridos durante esses quatro anos de curso.

Agradeço a CAPES, pela bolsa a mim concedida para realização do curso e desenvolvimento da pesquisa. Assim como, pela bolsa contemplada de Doutorado Sanduíche.

Agradeço aos professores e coordenação do Programa de Pós-graduação em Botânica da UFRGS, pelo conhecimento transmitido e auxílio nas questões burocráticas.

Agradeço aos colegas e amigos do IMBIV da Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, pela recepção e todo conhecimento e experiências adquiridos! Gracias por todo!

Agradeço a todos os colegas de curso, laboratório e amigos (aos velhos e aos novos, que arrecadei na jornada) pelas longas conversas, trocas, momentos de descontração, parcerias de campo. Alguns deles em especial, Alice Gerlach e família (pela agradável Cia e inúmeras hospedagens), Cristiane Seger companheira fiel de campo, Michel pelas caronas até o alojamento (PARNA São Joaquim), Equipe ICMbio Foz do Iguaçu pela hospitalidade, Equipe FLONA São Chico pelas caronas e

hospitalidade. A onça pintada, fofa, por me deixar concluir o campo e terminar esse trabalho, ufa! Aos amigos da vida que torceram, me xingaram, me apoiaram, me ajudaram e compreenderam os momentos de ausência, e tornaram essa fase mais leve quando juntos desfrutamos em vários momentos de uma boa gelada, a vocês de todo meu coração o meu muitíssimo obrigada pela amizade e parceria!!!

Resumo

Os Fungos gasteroides compreendem um vasto grupo morfológico e polifilético dentro de Basidiomycota, abrangendo diferentes ordens dentro do filo. Os gasteromicetos são caracterizados principalmente por formarem esporos dentro de basidiomas com um himênio fechado. Também é considerado um importante grupo de saprófitos dentro de Basidiomycota, podendo ser encontrado em diferentes ecossistemas, degradando diferentes tipos de substratos como madeira morta, serrapilheira, esterco, solo arenoso, etc. Trata-se de um grupo relativamente bem estudado do ponto de vista taxonômico para determinadas regiões do Brasil, principalmente para as regiões nordeste e sul do país. No entanto, são raros os estudos sobre ecologia do grupo no Brasil, assim como pouco se conhece sobre a estrutura das comunidades gasteroides nos ecossistemas brasileiros. Nesse sentido, o estudo teve por objetivo geral avaliar e comparar a estrutura da comunidade gasteroide em fragmentos de florestas representantes de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual da Região Sul do Brasil, em períodos de verão e outono dos anos de 2014 e 2015. Como resultado geral obtivemos 529 espécimes coletados, os quais estão distribuídos em 5 famílias, 12 gêneros e 47 espécies, dentre estas *Agaricaceae* e *Geastrum* se destacam como a família e o gênero, respectivamente, predominantes durante o estudo. Uma nova espécie de *Morganella* é proposta para a ciência. Foram encontradas diferenças na composição e riqueza da comunidade gasteroide nos fragmentos dos ecossistemas estudados. Também foram determinadas 13 espécies indicadoras para as áreas amostradas. Assim, esperamos ter contribuído de uma maneira efetiva e relevante para os estudos ecológicos da comunidade gasteroide em florestas da Região Sul do Brasil, assim como incentivar novos estudos nas demais regiões brasileiras. Desta forma, acreditamos que micólogos e ecologistas em conjunto possam ampliar e compartilhar o conhecimento sobre o funcionamento da micota de macrofungos (Basidiomycetes) no país.

Palavras-chave: *Agaricaceae*, comunidade gasteroide, conservação, diversidade de fungos, ecologia de fungos, espécies indicadoras, *Geastraceae*.

Abstract

Gasteroid fungi comprise a vast morphological poliphyletic group and within Basidiomycota, encompassing different orders within the phylum. Gasteromycetes are characterized mainly by forming spores within basidiomas with a closed hymenium. They are also considered an important group of saprophytes within Basidiomycota, and can be found in different ecosystems, degrading different types of substrates such as dead wood, litter, manure and sandy soil. It's a group relatively well studied from the taxonomic point of view for certain regions of Brazil, mainly for northeastern and southern regions of the country. However, there are few studies on group ecology in Brazil and little is known about the structure of gasteroid communities in Brazilian ecosystems. In this sense, the general objective of this study was to evaluate and compare the structure of the gasteroid community in fragments of Forest representing the Lowland Rain Forest, Araucaria Forest and Semideciduous Forest of southern Brazil, during summer and autumn of the years 2014 and 2015. As general results we obtained 529 collected specimens, which are distributed in 5 families, 12 genera and 47 species, among these *Agaricaceae* and *Geastrum* stand out as the predominant family and genus, respectively. A new species of *Morganella* is proposed for science. We found differences in composition and richness of the gasteroid community in the fragments of the ecosystems studies. We also determined 13 indicators species for the areas sampled. Thus we hope to have contributed in an effective and relevant way to the ecological studies of the gasteroid community in forests of the Southern Region of Brazil, as well as to encourage new studies in the other Brazilian regions. In this way, we believe that mycologists and ecologists together can broaden and share knowledge about the functioning of the macrofungi micota (Basidiomycetes) in the country.

Palavras-chave: *Agaricaceae*, conservation, diversity of fungi, fungal ecology, *Geastraceae*, gasteroid community, indicators species.

Sumário

1. Introdução	1
1.1 Breve histórico sobre a Mata Atlântica	1
1.2 Características e histórico de Fungos Gasteromicetos (Basidiomycota)	3
1.3 Macrofungos e sua importância nos ecossistemas	4
1.4 Ecologia de macrofungos e estudos sobre conservação	6
2. Objetivos	9
2.1 Objetivo Geral	9
2.2 Objetivos específicos	9
3. Material e métodos	9
3.1 Áreas de Estudo	9
3.1.1 Floresta Estacional Semidecidual	9
3.1.2 Floresta Ombrófila Densa	11
3.1.3 Floresta Ombrófila Mista	13
3.2 Amostragem	16
3.3 Coleta e análise morfológica de material	17
3.3.1 Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura	18
3.4 Análises ecológicas	18
3.5 Dados climáticos	19
3.6 Estudos de Revisão	20
4. Resultados	21
5. Capítulo 1	22
6. Capítulo 2	54
7. Capítulo 3	85
8. Considerações finais	92
9. Referências Bibliográficas	94
10. Anexo	99

1. Introdução

1.1 Breve histórico sobre a Mata Atlântica

Sabe-se que trinta e cinco dos principais *hotspots* do planeta, áreas com alto nível de biodiversidade e endemismo, possuem aproximadamente 0.5% da flora do mundo. Nove deste *hotspots* são áreas inteiramente de florestas tropicais úmidas, e muitos destes ambientes já perderam cerca de 70% da sua extensão territorial (Brooks *et al.* 2002, Mittermeier *et al.* 1998). Segundo Rezende *et al.* (2015) as áreas de floresta atlântica são um dos três *hotspots* em biodiversidade mais ameaçados do planeta, e também os mais vulneráveis às mudanças climáticas, entre estas, o bioma Mata Atlântica *sensu lato* brasileiro. De acordo com Mittermeier *et al.* (1998), ao contrário de outras ameaças ambientais, a perda acelerada e catastrófica da diversidade biótica é irreversível. Pois implica no desequilíbrio de outros ecossistemas diretamente ou indiretamente associados a essas áreas críticas de biodiversidade, além da extinção de espécies de plantas, animais, algas, fungos entre outros microrganismos, os quais atuam nos níveis básicos das interações ecológicas. Nesse sentido, conforme os resultados de estudos que investigam a intensiva perda da biodiversidade e conseqüentemente a sua limitada disponibilidade de recursos para avaliar as questões ambientais, é necessário intensificar nossos esforços para conservação dos recursos biológicos (Mittermeier *et al.* 1998).

A Mata Atlântica brasileira sofreu cinco séculos de desmatamento contínuo e desflorestamento relacionado a sucessivos ciclos econômicos e está agora reduzida a 11,7% da sua cobertura original, sendo que 80% estão distribuídos em pequenos fragmentos de 50 ha ou menos (Rezende *et al.* 2015). Esses remanescentes de Mata Atlântica formam um mosaico de distintos ecossistemas ao longo do Brasil, os quais abrangem florestas ombrófilas do tipo densa e mista (com a presença de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze), florestas estacionais (decidual e semidecidual), campos de altitude, mangues e restingas, conforme apresentado no mapa da Figura 1 (SOS Mata Atlântica 2015). Devido à acelerada perda de habitats no bioma, os estudos sobre a biodiversidade nestas áreas têm se intensificado nos últimos anos. Estes estudos incluem diferentes ramos da ciência e distintos ecossistemas no intuito de ampliar o conhecimento sobre os organismos que o compõem e o entendimento das dinâmicas ecológicas entre eles.

A Região Sul brasileira compreende os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, abrangendo dois biomas: Pampa e a Mata Atlântica. Neste estudo avaliamos a comunidade gasteroide em ecossistemas da Mata Atlântica em áreas de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, e Floresta Estacional Semidecidual. Acreditamos que a comunidade de macrofungos, assim como os demais organismos, também pode apresentar uma distribuição, estrutura e composição distintas em diferentes ecossistemas (Gomez-Hernandez & Williams-Linera 2011). Pretendemos contribuir e ampliar os estudos ecológicos com macrofungos nas florestas brasileiras, além de incentivar a inclusão destes trabalhos em propostas de estudos sobre conservação de ambientes ameaçados, a exemplo do bioma Mata Atlântica. Conseqüentemente, também incentivar a valorização e preservação desses remanescentes pela população e autoridades governamentais.

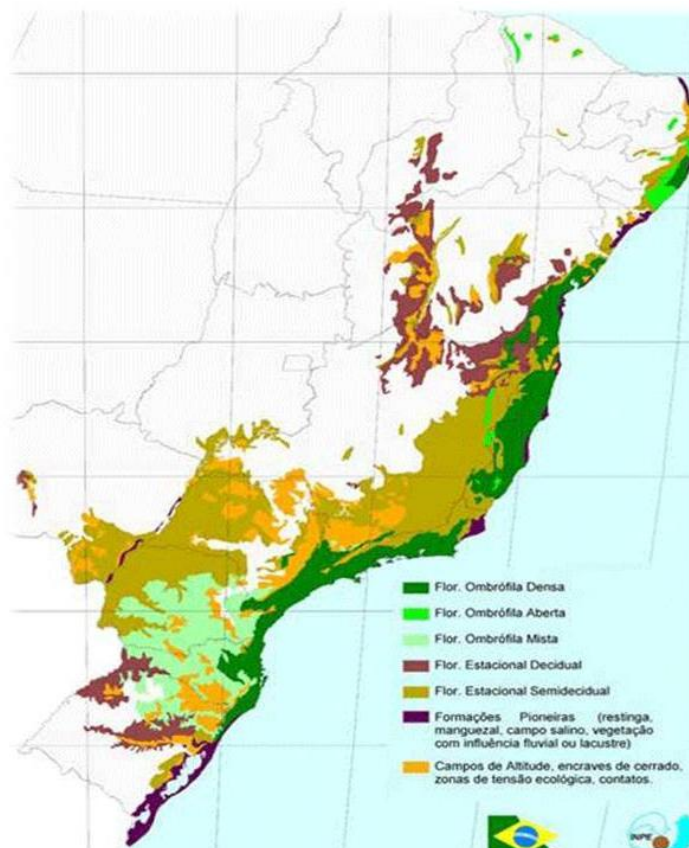


Figura 1. Ecossistemas representativos da Mata Atlântica brasileira (SOS Mata Atlântica 2015).

1.2 Características e histórico dos Fungos Gasteromicetos (Basidiomycota)

Basidiomycota compreende um grupo de fungos que produzem esporos sexuais em hifas modificadas chamadas de basídios. É um importante Filo do Reino Fungi composto por aproximadamente 52 ordens e 117 famílias, os quais na grande maioria são decompositores de matéria orgânica. Este filo foi por muitos anos dividido em classes, baseadas em características morfológicas como, por exemplo: formação ou não de basidiomas, septação do basídio e forma de liberação dos esporos. Dentre essas classes, está a dos Gasteromycetes (Kirk *et al.* 2008). Os Gasteromicetos são um vasto grupo morfológico e polifilético dentro de Basidiomycota, abrangendo diferentes ordens dentro do filo, como: *Agaricales*, *Boletales*, *Geastrales*, *Hysterangiales* e *Phallales* (Hibbett 2006).

O grupo é caracterizado principalmente por formar basidiomas com um himênio fechado (gaster = estômago) e descarga passiva dos seus basidiósporos (Kirk *et al.* 2008). Quando maduros, a camada externa (perídio) que reveste o basidioma se rompe e expõe os esporos, os quais são dispersos de diversas formas; por meio do ar, água da chuva, insetos e outros animais (Pegler *et al.* 1995). Também é considerado um importante grupo de saprófitos dentro de Basidiomycota, podendo ser encontrados em distintos ambientes, degradando diferentes tipos de substratos como madeira morta, serrapilheira, esterco, geralmente em solo rico em matéria orgânica, ocorrendo até mesmo em solos arenosos (Cortez 2009).

Trata-se de um grupo relativamente bem estudado do ponto de vista taxonômico para determinadas regiões do Brasil, como o nordeste e sul do país, conforme estudos de Rick 1961, Alves & Cortez 2014, Alves & Cortez 2016, Alfredo *et al.* 2012, Baseia 2001, Baseia & Galvão 2002, Cortez 2009, Cruz *et al.* 2012, Leite *et al.* 2007; Meijer 2006, Meijer 2010, Trierweiler-Pereira 2014, entre outros.

Apresenta uma ampla distribuição em alguns países da América do Sul e América do Norte, onde tem sido registrado em diversos ecossistemas (Calonge *et al.* 2000, Esqueda-Valle *et al.* 2000). Espécies como *Astraeus hygrometricus* (Pers.) Morgan, *Myriostoma coliforme* (Dicks.) Corda, *Podaxis pistillaris* (L.) Fr. e *Tulostoma exasperatum* Mont. são comumente consideradas típicas de ambientes de clima seco como a Caatinga no nordeste brasileiro e ambientes de deserto no México (Baseia & Galvão 2002, Esqueda-Valle *et al.* 2000). Por outro lado, espécies de *Geastrum*,

Morganella e *Phallus* parecem ocorrer mais frequentemente em ambientes de clima mais úmidos, como interiores de florestas. Alguns táxons gasteroides são simbiossiontes de espécies vegetais, a exemplo de *Hysterangium*, *Pisolithus*, *Rhizopogon* e *Scleroderma* gêneros que apresentam associações micorrízicas com espécies de *Fabaceae*, *Fagaceae*, *Myrtaceae* e *Pinaceae* (Cairney & Chambers 1999).

Apesar dos diversos estudos taxonômicos e moleculares que vêm sendo realizados recentemente com o grupo no Brasil, pouco se sabe sobre a estrutura e dinâmica das comunidades gasteroides nos ecossistemas brasileiros, salvo uma importante contribuição de Trierveiler-Pereira *et al.* (2013), em remanescentes da Mata Atlântica *stricto sensu* do nordeste brasileiro. Portanto, sabendo da deficiência de estudos ecológicos para o sul do Brasil, temos a iniciativa de contribuir com este estudo na Região Sul do Brasil, começando com o grupo dos fungos gasteroides.

1.3 Macrofungos e sua importância nos ecossistemas

Os fungos são peças chave na dinâmica dos ecossistemas, sendo os principais agentes decompositores de madeira e matéria orgânica e muitos são responsáveis pela ciclagem de nutrientes dos solos nos ecossistemas florestais e não florestais (Ferrer & Gilbert 2003, Zhang *et al.* 2010) (Figura 2). Podem ser classificados em diferentes categorias ou grupos funcionais, que correspondem a diferentes estratégias para aquisição de carbono e nitrogênio, assim como para a regulação de outros nutrientes, sendo mutualistas, saprófitos e parasitas. Dessa maneira, têm uma forte influência nas funções fundamentais dentro dos ecossistemas (Bueé *et al.* 2011). Segundo Hättenschwiler *et al.* (2005), a decomposição da serrapilheira em florestas temperadas e boreais da Europa é dirigida principalmente pela atividade fúngica. Eles observaram que a diversidade genética local dos fungos no solo é grande, e afirmam que o significado funcional desta diversidade pode ser importante em uma pequena escala espacial de microambientes específicos dentro da camada de serrapilheira.

A estrutura das comunidades de fungos, especialmente o balanço entre espécies dominantes e raras, difere entre os ecossistemas florestais. Este balanço é influenciado principalmente pela composição e estrutura da camada superior formada pela copa das árvores, e também pela disponibilidade de nutrientes e água nos solos, além da qualidade da serrapilheira e condições microclimáticas. Entretanto, estudos afirmam que uma relativa proporção de grupos de fungos saprófitos em ecossistemas

florestais está bastante relacionada a parâmetros de altitude, temperatura e precipitação (Buée *et al.* 2011). Neste sentido, o número de estudos buscando testar as características ambientais e a dinâmica de ocorrência dos macrofungos em diferentes ecossistemas do mundo vem aumentando. Estes tem intuito compreender diferentes padrões de distribuição para entender os nichos de macrofungos nos ecossistemas e monitorar florestas, entre outros ambientes ameaçados. A exemplo do trabalho de Olsson *et al.* (2010) que avaliou áreas de campo arenoso e preferência de pH e cal por espécies da lista-vermelha de gasteromicetos da Suécia, com o propósito de restauração dessas áreas.

No estudo detalhado de Tedersoo *et al.* (2014), os autores relataram que a distância dos trópicos e médias anuais de precipitação tiveram um forte efeito na riqueza de fungos, incluindo muitos grupos taxonômicos e grupos funcionais deste reino. Os autores também ressaltaram que os picos de maior diversidade de fungos estavam em ecossistemas tropicais, porém alertaram que outras classes de fungos como os ectomicorrízicos são mais diversos em ecossistemas temperados. De acordo com o estudo dos autores, as maiores taxas registradas de endemismo foram para as regiões tropicais, mesmo com diversos táxons de fungos apresentando distribuição cosmopolita. Sabendo disso, talvez seja urgente começarmos a intensificar nossos estudos nestas áreas, unindo diversas abordagens e ferramentas como a da ecologia, conservação e taxonomia integrativa para os grandes grupos de fungos na tentativa de melhor conhecermos essas comunidades e como atuam nestes ambientes.

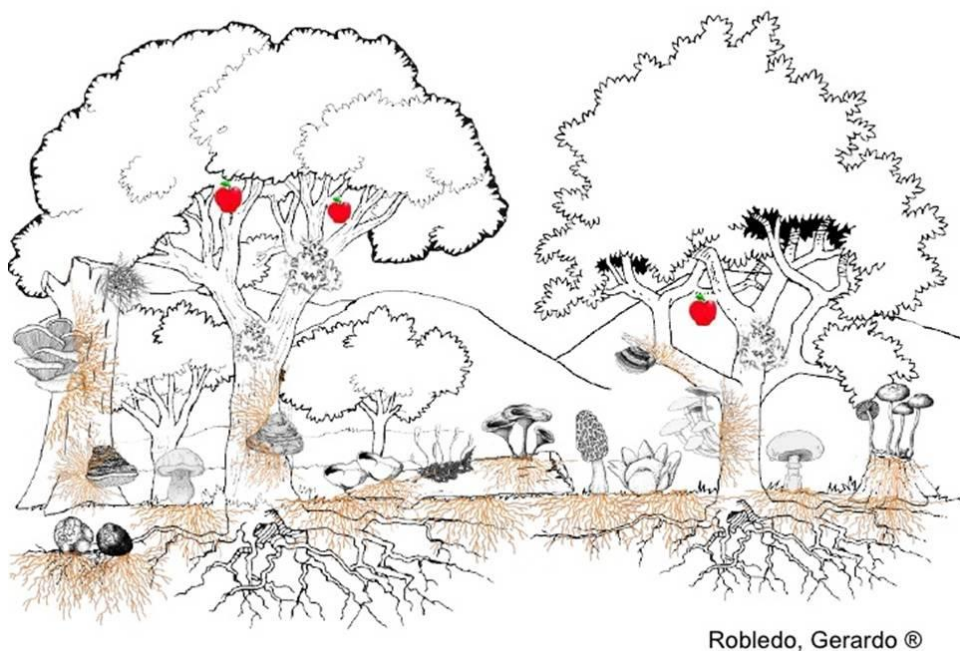


Figura 2. Ilustração dos diferentes grupos de fungos que compõem os ecossistemas.

1.4 Ecologia de macrofungos e estudos sobre conservação

Em comparação com plantas vasculares e muitos grupos de animais, os estudos sobre conservação de fungos têm interesse limitado dos pesquisadores. Em termos de mundo, existem poucas reservas naturais declaradas que incluem a conservação da biodiversidade fúngica como tema de estudo, e o número de publicações que tratam do assunto é comparativamente baixo, porém vem aumentando (Heilmann-Clausen & Vesterholt 2008). Entretanto, na Europa foi criado um Conselho Europeu para conservação de fungos em 1985. Em 2001, o Conselho sugeriu uma lista de 33 macromicetos a incluir nos anexos a Convenção de Bern, que trata da convenção sobre a vida Selvagem e os habitats naturais na Europa (ICNF 2017). Como uma concessão, a Comissão Europeia publicou um relatório com informações detalhadas de todas as 33 espécies, alegando que estas merecem atenção das agências de conservação. Ao nível nacional foram lançadas iniciativas oficiais para proteger fungos específicos em alguns países (Heilmann-Clausen & Vesterholt 2008). Contudo, sabemos que a conservação da biodiversidade é uma tarefa complexa. E é amplamente aceito que meios para reduzir a complexidade são necessários se quisermos tornar a biologia da conservação praticável. Neste sentido,

isto se torna relevante em um grupo megadiverso, como os fungos, onde o número de espécies globais é estimado em 1,5 milhões (Hawksworth 2001).

As comunidades fúngicas são mais difíceis de investigar em termos de avaliação para conservação, quando comparadas ao grupo das plantas e dos animais. Em macrofungos a ausência de um basidioma de uma determinada espécie não significa que ela não ocorra naquele local. A formação de basidiomas é altamente variável em intensidade e tempo entre os anos, e pode levar décadas para se registrar todas as espécies ocorrentes em um determinado local (Heilmann-Clausen & Vesterholt 2008). Talvez por isso os fungos sejam raramente incluídos nos programas de monitoramento. Como consequência, uma escassez de dados que documentem a diminuição ou o aumento de uma população, assim como declínios súbitos, é difícil de detectar. No entanto, alguns estudos com fungos saprófitos vêm sendo testados com diferentes abordagens como a utilização de fungos indicadores em áreas prioritárias para conservação (Esqueda-Valle *et al.* 2000, Esqueda *et al.* 2003, Heilmann-Clausen & Vesterholt 2008, Piña-Páez *et al.* 2013).

Os estudos referentes à ecologia de Basidiomycetes em áreas de campo na Europa têm sido em grande parte também impulsionados pela preocupação com a conservação. Os pesquisadores europeus consideram de grande importância o papel desempenhado pelos fungos basidiomicetos, entre outros grupos, no ciclo de nutrientes nos sistemas campestres, cujo conhecimento e compreensão da dinâmica do sequestro de carbono é fundamental no contexto das mudanças climáticas globais. Pois ao avaliarem a diversidade de basidiomicetos em diferentes tipos de habitat na Europa, registraram que cerca de 20% das 620 espécies encontradas estavam presentes em áreas de campo, em comparação com áreas de florestas decíduais, contudo 38 espécies foram exclusivas dos campos europeus (ex: *Hygrocybe* spp., *Lycoperdon* spp., *Panaeolus* spp.) (Griffith & Roderick 2008).

Além da Europa, em regiões da América do Norte e Austrália os estudos ecológicos ao nível quantitativo também têm sido utilizados para comparar comunidades de fungos em diferentes áreas, muitas vezes registrando espécies raras ou em perigo de extinção (Arnold 2007). No entanto, para realização de estudos mais aprofundados, primeiramente é necessário identificar quais os principais fatores e como eles estão relacionados com a composição das espécies de fungos nos

ambientes amostrados, e de que maneira podem influenciar na presença ou ausência de determinados táxons (Esqueda-Valle *et al.* 2000). Além dos inúmeros novos táxons que podem ser encontrados durante esses estudos, informações sobre as diferenças sazonais e ocorrência de espécies, fatores relacionados à abundância, diversidade de fungos nos diferentes ambientes estudados, assim como a estrutura da comunidade e possíveis plantas hospedeiras podem ser analisados (Claridge *et al.* 2000). Dessa forma, fornecendo dados ecológicos inéditos para a micota dos diferentes ecossistemas onde esses fungos ocorrem.

Na América do Sul esses estudos estão começando e são escassos, sendo as principais referências trabalhos ecológicos relacionados a grupos como micorrizas, fungos poliporoides, e raros com cogumelos *sensu stricto* e fungos gasteroides. Estes trabalhos estão distribuídos principalmente nos países como Argentina e Brasil (Urcelay & Robledo 2009, Nouhra *et al.* 2008, 2012, Cafott 2014, Dreschesler-Santos *et al.* 2010, Gibertoni *et al.* 2015). No entanto, devemos ressaltar que para o Brasil estudos sobre ecologia de macrofungos ainda são pouquíssimos, com destaque para Gibertoni *et al.* 2007; Karstedt & Stürmer, 2008, Borba-Silva *et al.* 2015, Dreschesler-Santos *et al.* 2010, Gibertoni *et al.* 2015, Braga-Neto *et al.* 2008, Trieveiler-Pereira *et al.* 2013.

Sabendo que o Brasil é conhecido como o país com maior biodiversidade do mundo, abrigando cerca de 20% das espécies do nosso planeta, distribuídas nos seis biomas presente no país: Amazônia, Cerrado, Pantanal, Caatinga, Mata Atlântica e Pampa (Overbeck *et al.* 2015). E, considerando que muitos dos ecossistemas que compõem estes biomas estão altamente ameaçados pela expansiva e impactante ação antrópica, reforçamos a ideia da importância de aprofundar e ampliar os estudos de incentivo à conservação. Incluindo a maior quantidade de organismos possíveis nesses estudos, como, por exemplo, os macrofungos, ainda bastante negligenciados nos estudos. Utilizando para isso novas ferramentas, além dos estudos de diversidade taxonômica, começando pelo conhecimento da estrutura das comunidades fúngicas em cada ecossistema, possíveis espécies ameaçadas, espécies indicadoras entre outros aspectos que podem auxiliar no entendimento dos padrões de distribuição da micota brasileira. Dessa maneira, aprimorando nossas estratégias para estudos de conservação com macrofungos, aliado a preservação dos principais ecossistemas brasileiros.

2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é ampliar o conhecimento ecológico sobre fungos gasteroides em ecossistemas florestais da Região Sul do Brasil. Assim como incentivar as investigações micológicas com perspectivas voltadas para conservação.

2.2 Objetivos específicos

* Avaliar e comparar a estrutura e diversidade da comunidade de fungos gasteroides em áreas de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional;

* Detectar espécies de fungos gasteroides indicadoras para as áreas amostradas;

* Inferir sobre os principais fatores que influenciam na distribuição do grupo nos ecossistemas onde ocorrem, através de um estudo de revisão sobre ecologia de fungos gasteroides; e incentivar novos estudos na perspectiva da conservação;

* Descrever novos táxons de fungos gasteroides para a ciência, assim como novos registros para o Estado, Brasil ou América do Sul.

3. Material e métodos

3.1 Áreas de estudo

3.1.1 Floresta Estacional Semidecidual

As Florestas Estacionais Semidecíduais são caracterizadas pela condição da dupla estacionalidade climática, sendo uma tropical com épocas de intensas chuvas de verão, seguida por estiagem acentuada e outra subtropical sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo intenso frio do inverno, com temperaturas médias de 15°C (Veloso *et al.* 1991). Neste ecossistema, além da ocorrência eventual de geadas, a flora está condicionada a um período de baixa precipitação pluviométrica, onde a média anual de precipitação é de cerca de 1600 mm (Roderjan *et al.* 2002).

Nestes períodos de baixa precipitação, de 20 a 50% das árvores do dossel da floresta perdem suas folhas, modificando fortemente a fisionomia da vegetação,

característica conhecida por semidecidualidade. Esse fenômeno é praticamente restrito aos estratos superiores da floresta e parece ter correlação principalmente com os parâmetros climáticos, quer históricos ou atuais. A Floresta Estacional Semidecidual compreende as regiões norte e oeste dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, entre 200 m e 600 m de altitude. Apresentando uma florística diferenciada e mais empobrecida em formas de vida principalmente arbóreas em relação às formações ombrófilas, com reduzido número de espécies nos estratos superiores, geralmente mais abertos e descontínuos (Roderjan *et al.* 2002). Segundo Roderjan *et al.* (2002) são conhecidas 213 espécies arbóreas para este tipo de Formação.

No presente estudo, foram escolhidos dois parques representativos da Floresta Estacional Semidecidual dos quais segue uma breve descrição a seguir:

Parque Estadual São Camilo, PR - Foi criado como Reserva Biológica de São Camilo, através do Decreto nº 6.595 do Governador do estado do Paraná, em 22 de fevereiro de 1990 (IAP, 2006). A unidade de conservação localiza-se no município de Palotina, Paraná e contém 387 hectares de Floresta Estacional Semidecidual. A vegetação original da região oeste paranaense apresenta-se descaracterizada em função da intensa atividade agropecuária local ao longo dos anos. Contudo, o PESC encontra-se em processo de regeneração há cerca de 20 anos e ainda apresenta espécies características de Floresta Estacional Semidecidual, mantendo assim uma florística e um ecossistema diferenciado das Florestas Ombrófilas. Sendo um dos poucos remanescentes naturais de Floresta Estacional Semidecidual do oeste paranaense (IAP, 2006).

Parque Nacional de Iguaçu, PR – O Parque Nacional do Iguaçu é internacionalmente reconhecido pelas Cataratas do Iguaçu, descobertas em 1542 por um capitão espanhol, Cabeza de Vaca, em expedição rumo ao Paraguai. Em 20 de outubro de 1930, pelo Decreto Nº. 2.153, o estado do Paraná ampliou para cerca de 3.300 ha a área já desapropriada, visando "*estabelecer uma futura povoação e um Parque Nacional*". Foi ainda por meio do referido Decreto que o estado do Paraná deu as terras ao Governo Federal, que então, pelo Decreto Nº. 1.035, de 10 de janeiro de 1939, criou o Parque Nacional do Iguaçu (Figura 3), junto às cataratas do Iguaçu (ICMbio 1999).

Atualmente, o Parque Nacional do Iguaçu possui aproximadamente 170.000 hectares, abrangendo cerca de cinco municípios do estado do Paraná. No entanto, o

presente estudo foi realizado somente na área que compreende o município de Foz do Iguaçu, que representa 7% da área total. É também onde existe a maior área de Floresta Estacional Semidecidual conservada, visto que, o parque também comporta áreas de Floresta Ombrófila Mista.



Figura 3. Área de Floresta Estacional Semidecidual, Parque Nacional de Foz do Iguaçu.

3.1.2 Floresta Ombrófila Densa

As formações de Floresta Ombrófila Densa ocorrem ao longo da costa atlântica brasileira que antigamente formava um contínuo desde o sul ao nordeste do Brasil, este ecossistema apresenta elevada diversidade biológica devido a sua distribuição latitudinal (Sevegnani *et al.* 2013). Pode ser subdividido em quatro faixas de gradiente de altitude que se mantêm como formações florísticas coesas, sendo essas: Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, Submontana, Montana e Altomontana (Veloso *et al.* 1991). Entretanto, ressaltamos que áreas representativas deste ecossistema no presente estudo, estão inseridas na área de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, que compreende as formações florestais entre o nível do mar e aproximadamente 20 metros de altitude (Roderjan *et al.* 2002). Áreas de Floresta Ombrófila Densa talvez sejam um dos ecossistemas mais estudados e ameaçados no Brasil, e por isso o mais conhecido em

relação a sua diversidade florística onde se estima 700 espécies arbóreas conhecidas (Sevegnani *et al.* 2013, Roderjan *et al.* 2002).

Segundo a classificação climática de Koppen-Geiger, o clima local é classificado como *cfa* de clima temperado, com estações frias e quentes bem definidas, alta umidade, precipitações ao longo de todo o ano e verões quentes. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C, enquanto que no mês mais frio fica entre 16 e 18°C. A precipitação média anual é em torno de 1.800 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (ICMbio 2014a).

Portanto, para o estudo como mencionado anteriormente, foram escolhidos dois parques representantes da Floresta Ombrófila Densa, para os quais também segue uma breve descrição:

Parque Municipal da Lagoa do Peri, SC - Localizado no município de Florianópolis, criado em 1981, pela Lei Municipal nº 1.828, com objetivo de proteger o manancial da Bacia Hidrográfica da Lagoa do Peri e visando o abastecimento da população ao redor e preservação do patrimônio natural. A Lagoa do Peri deve seu nome a espécies de junco (*Juncus* spp.) conhecidas popularmente por "peri" ou "piri", o qual cresce nas margens da lagoa (Sbroglia & Beltrame 2012).

O Parque encontra-se no distrito de Pântano do Sul, na costa sudeste da Ilha de Santa Catarina. Abriga o maior manancial de água doce da Ilha e um dos últimos remanescentes da Mata Atlântica. Destaca-se como importante ecossistema de preservação da biodiversidade, trata-se de um habitat que inclui espécies da fauna e da flora com inestimável valor e importância (Sbroglia & Beltrame 2012).

A RPPN Reserva de Volta Velha, SC – Também conhecida como Fazenda Palmital. Está localizada no estado de Santa Catarina, no município de Itapoá, litoral norte catarinense a 260 km da capital Florianópolis. Criada no ano de 1992, através da portaria 070/92-N de 25 de junho de 1992, pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), possui uma área de 590,62 hectares. A RPPN Reserva Volta Velha (Figura 4) foi uma das primeiras RPPNs decretadas no estado de Santa Catarina possui uma das áreas que protegem uma importante porção de Floresta Atlântica de Planície Quaternária em bom estado de conservação. Situada no litoral norte catarinense, região que ainda apresenta extensa área com cobertura florestal

relativamente conservada, mas que, nos últimos anos, tem sofrido forte pressão em face das atividades antrópicas (ICNbio 2014a).



Figura 4. Área de Floresta Ombrófila Densa, Reserva Volta Velha.

3.1.3 Floresta Ombrófila Mista

Os ambientes de Floresta Ombrófila Mista abrangem uma grande parte do planalto sul brasileiro e contemplam a coexistência de representantes da flora tropical e temperada, que é dominada pela presença do Pinheiro do Paraná, *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. A Floresta Ombrófila Mista pode ocorrer intercaladamente com áreas de campo de altitude, originando um sistema em mosaico que caracteriza grande parte da paisagem da Região Sul do País (Klein 1960, 1984, Backes 2001). Os quais dão a esta região do Brasil uma fisionomia própria, que contrasta vivamente com o restante da vegetação do país. A araucária, foi uma das maiores riquezas madeireira do Brasil não somente pelo seu aspecto fitofisionômico em quase toda área de crescimento natural, como também caracterizando a formação de modo impressionante, tanto pelos densos agrupamentos ainda existentes no estados do Paraná e Santa Catarina, quanto pelo grande porte de seus indivíduos, que formam uma cobertura por vezes quase contínua, dando a impressão de tratar-se de associassões puras (Klein 1984). No entanto, sob a cobertura das copas das araucárias, encontram-se outras espécies de árvores, arbustos, ervas, epífitos e lianas, que variam em abundância

e porte dependendo do local e do estágio de desenvolvimento da comunidade em questão (Klein 1960).

Diferentemente da Floresta Ombrófila Densa, os ambientes de floresta mista apresentam uma vegetação menos complexa, onde estima-se 350 espécies arbóreas conhecidas (Roderjan *et al.* 2002). O clima dessa região é classificado tipo *Cfb* no sistema de Köppen mesotérmico, úmido, com precipitação uniformemente distribuída durante o ano, verões amenos característicos dos ambientes da Serra Geral, onde a média do mês mais quente (janeiro) oscila de 20°C a 26° C, e no inverno as temperaturas caem drasticamente podendo chegar a 0° C nas áreas entre 1000 a 1800m de altitude. Temperaturas negativas podem ocorrer durante os meses de abril a novembro. Nessas regiões, geadas são frequentes e nos invernos mais rigorosos pode ocorrer a formação de neve (Sonogo *et al.* 2007). Os ambientes de Floresta Ombrófila Mista podem ser considerados os ambientes mais úmidos da Região Sul do Brasil, com pluviosidade podendo chegar a 2400 mm por ano conforme averiguado para as áreas de estudo (ICMbio 2014b).

Para este estudo selecionamos os seguintes parques representantes de áreas de Floresta Ombrófila Mista:

Parque Nacional de São Joaquim, SC – Foi criado através do decreto 50.922 de julho de 1961, pela necessidade de proteção aos remanescentes de matas com araucária encontrada em abundância na região entre Urubici e São Joaquim no estado de Santa Catarina (ICMbio 2014b). Tratando-se do terceiro maior Parque Nacional do Sul do Brasil, depois dos Parques Nacionais do Iguaçu e da Ilha Grande, ambos no Paraná. O PARNA de São Joaquim está localizado na região sul do estado de Santa Catarina, na Serra Geral. Distribuído nos municípios de Urubici, São Joaquim, Bom Jardim da Serra, Orleans e Grão Pará. Com uma área aproximada de 49.300 ha, com altitudes entre 350 até 1.822 metros (ICMbio 2014b). Nossa área de estudo (Figura 5) pertence a áreas de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana, a qual está localizada entre 900 a 1.000 m, com capões de araucária e predominância de campos, no distrito de Santa Bárbara (ICMbio 2014b).

Floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS – Foi criada em 27 de agosto de 1945, e está localizada no município de São Francisco de Paula, nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Caracterizado pelos Campos de Cima da Serra e pelas matas com araucária. A região é uma das mais úmidas do Estado, com pluviosidade superior a 2.000mm (Sonego *et al.* 2007). A FLONA - SFP possui uma área de 1 606 ha, a cobertura vegetal é constituída por formações nativas (56%) e plantações (39%), tendo plantios de *Araucaria angustifolia* (321,4 ha), *Pinus elliottii* Engelm (216,5 ha), *Pinus taeda* Blanco (23 ha) e *Eucalyptus* spp. (35 ha), sendo que o restante da área, (5%) é ocupado por áreas úmidas, estradas, e a sede administrativa (Sonego *et al.* 2007).

Além da silvicultura, a coleta de pinhão e o extrativismo da samambaia-preta, *Rumhora adiantiformis* (G. Forst.) Ching são atividades econômicas praticadas na área. Apesar de apresentar grande parte da sua área com cultivo de árvores exóticas e todos os impactos decorrentes dessa atividade, a FLONA-SFP apresenta uma grande biodiversidade e tem um importante papel na sua conservação, devido ao fato da mesma estar localizada em uma área de Floresta com Araucária, com algumas áreas em bom estado de conservação, além da presença de diversos animais ameaçados de extinção regionalmente e mesmo, mundialmente (Fontana *et al.* 2003).



Figura 5. Área de Floresta Ombrófila Mista, PARNA de São Joaquim, SC.

3.2 Amostragem

Para a realização do estudo foram selecionadas seis unidades de conservação, representando fragmentos de três ecossistemas da Mata Atlântica sul brasileira, (Tabela 1). Nestas áreas foi realizada uma coleta no período de verão e outra no de outono dos anos de 2014 e 2015, com o objetivo de capturar a dicotomia sazonal e aumentar o número de espécies detectadas (Nouhra *et al.* 2012).

Tabela 1. Localização das unidades de conservação onde o estudo foi realizado.

Parques	Coordenadas	Altitudes	Ecossistemas
P.M.Lagoa do Peri (SC)	27° 43' 30" S 48° 32' 18" W	3 m	Floresta Ombrófila Densa
Reserva Volta Velha (SC)	26° 04' 18.60" S 48° 40' 14.76" W	5 m	Floresta Ombrófila Densa
FLONA São Francisco de Paula (RS)	29° 25' 22" S 50° 23' 11" W	900 m	Floresta Ombrófila Mista
PARNA São Joaquim (SC)	28° 08' 04" S 49° 28' 47" W	1650 m	Floresta Ombrófila Mista
Parque Nacional de Foz do Iguaçu (PR)	25° 41' 00" S 54° 26' 00" W	164 m	Floresta Estacional Semidecidual
Parque Estadual São Camilo (PR)	24° 18' 48" S 53° 54' 49" W	280 m	Floresta Estacional Semidecidual

Em cada área foram estabelecidos 10 transectos de 50 metros de comprimento por 4 metros de largura, e espaçados por no mínimo 10 metros, os transectos não foram fixos e, a cada período de amostragem foram traçados ao azar o mais afastado possível da amostragem anterior. Sendo os transectos considerados nossas unidades amostrais neste estudo, logo temos (dois parques por ecossistema por 10 transectos em cada parque em duas estações durante dois anos) assim totalizando 80 unidades amostrais para cada ecossistema avaliado (Figura 5). Somente basidiomas visíveis na superfície do solo foram coletados. Durante as quatro temporadas foram amostradas e percorridos os seis parques de maneira consecutiva em um período de 10-15 dias.

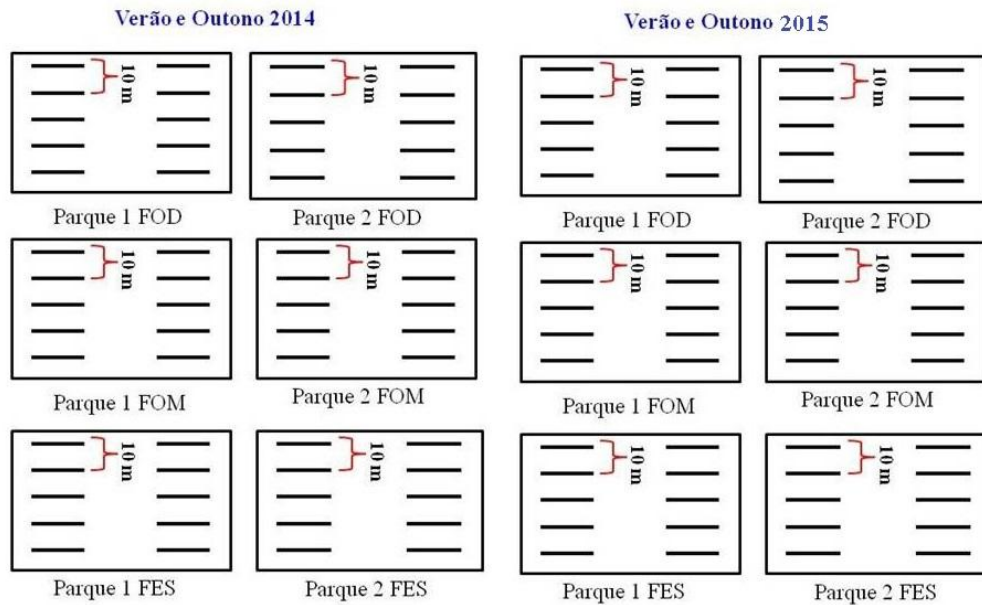


Figura 5. Esquema ilustrativo da amostragem das áreas estudadas, por estação do ano. Floresta Ombrófila Densa (FOD), Floresta Ombrófila Mista (FOM) e Floresta Estacional Semidecidual (FES).

3.3 Coleta e análise morfológica do material

Na coleta e triagem do material foram utilizados métodos padronizados para fungos gasteroides propostos por Miller & Miller (1988).

Durante a análise macroscópica, características dos basidiomas foram observadas e anotadas em fichas com as seguintes informações: habitat, forma, dimensões, hábito, estrutura do perídio (textura, consistência, coloração, número de camadas, persistência, aberturas), sobre a gleba (coloração e textura, quando imatura e madura), base estéril (consistência, coloração, durabilidade), estípite (dimensões, posição, coloração, consistência, superfície), volva (dimensões, coloração, consistência) de acordo com o táxon e morfologia do espécime. Esta análise é feita a vista desarmada ou utilizando microscópio estereoscópico, e para a classificação das cores dos basidiomas utilizamos a carta de cores de Kernerup & Wanscher (1978).

Na caracterização das estruturas microscópicas (basidiósporos e hifas) foram considerados pelo menos 25 elementos de cada microestrutura. Na montagem das lâminas pequenas porções da gleba foram removidas e analisadas; sendo estas preparadas com KOH 5% (hidróxido de potássio). No estudo do exoperídio também foram removidas pequenas parte da estrutura e montadas em lâminas com KOH 5%

para observação de forma e arranjo das hifas que o compõe. As análises microscópicas foram realizadas em microscópio óptico.

3.3.1 Análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A análise de MEV foi realizada para detalhar a morfologia da superfície e padrão de ornamentação dos basidiósporos de um novo táxon proposto neste estudo.

O procedimento consiste na remoção de uma porção da gleba, a qual é montada sobre suportes de alumínio (“stubs”), utilizando-se fita adesiva de carbono dupla-face. Posteriormente, os “stubs” são submetidos ao processo de metalização por três a cinco minutos em metalizador, revestindo o material com aproximadamente 150 Å de ouro. Após a metalização, o material pode ser observado em microscópio eletrônico de varredura Jeol JSM-6060. Esta análise foi realizada no Centro de Microscopia Eletrônica UFRGS (CME-UFRGS).

3.4 Análises ecológicas

Na estimativa da riqueza gasteroide nos diferentes tipos de ecossistemas, calculamos a curva de rarefação e o estimador Chao 2 usando 100 permutações, sendo nossas unidades amostrais definidas como os transectos, selecionados aleatoriamente sem substituição com Estimates 8.2 (Cowllell 2006).

Na avaliação da diversidade de espécies em cada ecossistema, utilizamos o índice de diversidade de Shannon-Weiner. O índice de diversidade de espécies foi analisado para cada ecossistema, utilizando tow-way ANOVA entre os tipos de ecossistemas e estações. A diferença foi avaliada com Banferroni post-hoc com 5% de nível de significância. Para esta análise estatística foi utilizado o programa SPSS versão 18. Também foi realizada uma análise multivariada, Nonmetric Multidimensional Sacaling (NMDS), usada para descrever padrões gerais na composição de espécies nos ecossistemas, utilizando medida de distância de Bray-Curtis. E o valor de stress para a adequada interpretação da ordenação (Kruskal 1964). Esta análise foi realizada com Vegan pacote “metaMDS” no programa estatístico R versão 3.1.2 (R Core Team R 2014).

Na análise de espécies indicadoras foi utilizado o indicador value index (IndVal). Onde Indval é um produto de dois componentes chamados A e B. Sendo que a quantidade de A é definida como a abundância média da espécie no grupo alvo, dividida pela soma dos valores de abundância média em todos os grupos. A quantidade B é definida como a frequência relativa da ocorrência (presença-ausência) das espécies dentro do grupo alvo, de acordo com a seguinte fórmula:

$$A_{ij} = N_{individuals_{ij}} / N_{individuals_i}$$

$$B_{ij} = N_{sites_{ij}} / N_{sites_j}$$

$$IndVal_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

Para verificar a significância estatística das relações entre as espécies e os grupos dos locais, foi realizado um teste de permutação, onde P-value <0.5 foi considerado significativo. Na execução da análise utilizamos o pacote “Labsdv” no programa estatístico R versão 3.1.2 (Dufrene & Legendre 1997, R Core Team R 2014).

3.5 Dados climáticos

Através das coordenadas geográficas de cada parque, dados de clima foram extraídos do Worldclim databank para caracterizar o clima dos ambientes (Hijmand *et al.* 2005). Nesta caracterização, consideramos as seguintes variáveis: Média anual de temperatura, (Bio1), Temperatura máxima dos meses mais úmidos (Bio5), Temperatura mínima dos meses mais frios (Bio6), Precipitação anual (Bio12), Precipitação do mês mais úmido (Bio 13), e a precipitação dos meses mais secos (Bio 14), (Tabela 2).

Tabela 2. Dados climáticos para cada área de estudo, extraídos do Worldclim Databank.

Parques	Bio 1	Bio 5	Bio 6	Bio 12	Bio 13	Bio 14
P.L. Peri	19,8°C	27,7°C	12,7°C	1404 mm	205 mm	71 mm
R.V. Velha	21,1°C	29°C	13,3°C	1857 mm	273 mm	82 mm
F.S.F. Paula	15,3°C	24,7°C	6,5°C	2039 mm	194 mm	137 mm
P.São Joaquim	14,2°C	23,4°C	5,9°C	1689 mm	189 mm	109 mm
PN. Iguaçu	19,7°C	30,8°C	8,0°C	1840 mm	231 mm	107 mm
P.E. São Camilo	20,9°C	31,1°C	9,7°C	1515 mm	172 mm	73 mm

3.6 Estudos de Revisão

No estudo de revisão foram incluídos artigos que tratassem especificamente de ecologia de fungos gasteroides. Foram considerados trabalhos publicados a partir do ano 2000. Na confecção dos mapas de distribuição apresentados no estudo, os dados foram triados dos portais *Specieslink* e a Rede Flora do Brasil 2020.

4. Resultados

Os resultados estão apresentados na forma de capítulos correspondentes aos periódicos científicos provenientes das áreas de estudo que serão submetidos:

5. Capítulo 1. Indicator species and structure community of gasteroid fungi (*Agaricomycetes*, *Basidiomycota*) in ecosystems of the Atlantic Forest in southern Brazil

Submetido à revista Fungal Ecology.

6. Capítulo 2. Revisão dos estudos ecológicos em fungos gasteroides e aspectos para conservação.

Manuscrito a ser submetido à revista Fungal Biology Reviews.

7. Capítulo 3. *Morganella austromontana* sp.nov. from South Brazilian Plateau

Manuscrito submetido à revista Mycotaxon.

5. Capítulo 1: Indicator species and structure community of gasteroid fungi (*Agaricomycetes*, *Basidiomycota*) in ecosystems of the Atlantic Forest in southern Brazil.

Submetido à revista Fungal Ecology.

Indicator species and structure community of gasteroid fungi (*Agaricomycetes*, *Basidiomycota*) in ecosystems of the Atlantic Forest in southern Brazil

Camila R. Alves^{a,*}, Carlos Urcelay^b & Rosa Mara B. da Silveira^c

^a Universidade Federal do Rio Grande do Sul , Programa de Pós-Graduação em Botânica . Av. Bento Gonçalves, 9500 Campus do Vale CEP: 91501-970 Porto Alegre – RS, Brasil

^b Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (CONICET - UNC)
Casilla de Correo 495 - X5000 - Córdoba

^c Universidade Federal do Rio Grande do Sul , Departamento de Botânica . Av. Bento Gonçalves, 9500 Campus do Vale CEP: 91501-970 Porto Alegre - RS Brasil

*Corresponding author:

E-mail address: cra.micologia@gmail.com (C.R. Alves)

Current address: Universidade Federal do Rio Grande do Sul , Departamento de Botânica . Av. Bento Gonçalves, 9500 Campus do Vale CEP: 91501-970 Porto Alegre – RS, Brasil.

Tel.: 00 + 55 (51) 3308-7563

Abstract

Fungi are import organisms in the tropical ecosystems. However, there is little information about their structure and dynamics in these environments. This study aimed to evaluate the structure and presence of indicators species of epigeous Gasteromycetes in distinct ecosystems of Atlantic Forest in southern Brazil: Lowland Rain Forest, Araucaria Forest and Semideciduous Forest. The work included expeditions carried out during summer and autumn of the years 2014 and 2015, to sample ten transects covering an area of 50×4 m. Forty-seven species were identified, of which 48% belong to *Geastrum*. The ANOVA analysis showed significant difference in diversity of gasteroid fungi among forest types and the two evaluated seasons. To access the composition of species of the forest types, we performed ordination nonparametric analysis, and we obtained stress value = 0.12. In total, 13 species were classified as indicator species through IndVal analysis.

Agaricaceae

Araucaria Forest

Conservation

Ecology

Geastraceae

Lowland Rain Forest

Semideciduous Forest

1. Introduction

The Atlantic Forest is one of the three most threatened biodiversity hotspots in the world, and also the most vulnerable to climate changes (Rezende et al., 2015). The Brazilian Atlantic Forest has suffered five centuries of continuous deforestation, related to successive economic cycles and is now reduced to 11.7% of its original cover, 80% is distributed in small fragments of 50 ha or less (Rezende et al., 2015). In southern Brazil, these forest remnants are not homogeneous. Instead, they are characterized by distinct mosaic ecosystems, which cover different ecosystems: Lowland Rain Forest, Araucaria Forests, Deciduous and Semideciduous Forests, grassland and salt marsh (SOS Mata Atlântica, 2015). For being such an important Brazilian biome and being situated close to major centers of study, the number of studies on biodiversity has increased in recent years.

As well as plants and animals, fungi are also negatively affected by large-scale environmental degradation, habitat loss, deforestation, and other human activities (Barron, 2011). Despite the great importance of these organisms in nutrient cycling, our knowledge on community structure is limited, at least for many ecosystems (Ferrer and Gilbert, 2003; Schmit and Mueller, 2007; Braga-Neto et al., 2008). We know that the stability of forest ecosystems ultimately depends on fungal colonization rates and species composition of particular assemblages of fungi (Tedersoo et al., 2014). Moreover, macrofungi have showed to play significant ecological function in the establishment and dynamic succession of plant communities, and are likely crucial to sustainable development and ecological construction and stability (Zhang et al., 2010).

The studies on fungal community structure and dynamics in Brazilian forests are still scarce and mostly related to poroid wood-rotting fungi or mushrooms (Gibertoni et

al., 2007; Braga-Neto et al., 2008; Karstedt and Stürmer, 2008; Dreschsler-Santos et al., 2010; Borba-Silva et al., 2015; Gibertoni et al., 2015). Currently, there is only one study performed by Trierveiler-Pereira et al. (2013), concerning the structure of gasteroid fungi in remnants of Atlantic Forest of northeastern Brazil. Therefore, there is little information on how these fungi are distributed in the landscape. Most species of fungi in several orders are believed to have restricted spatial distribution (Lodge et al., 1995).

Gasteroid fungi constitute a broad morphological group, polyphyletic within Basidiomycota, characterized mainly by forming basidiomata with closed hymenium (gaster = stomach) and by passive discharge of basidiospores (Kirk et al., 2008). They are important saprophytes that can be found in several environments, degrading different types of substrates such as dead wood, litter and dung, and usually occur in soil rich in organic matter or even in sandy soils (Miller and Miller, 1988). It is a relatively well-studied group of taxonomical point of view in Brazil, being widely distributed throughout the country (Rick, 1961; Baseia, 2007; Cortez, 2009; Meijer, 2010, Trieveiler-Pereira et al, 2014, Alves and Cortez, 2016). Nevertheless, there are still scarce ecological studies that can be very useful for the understanding of the occurrence and structure of this group in Brazilian ecosystems.

In this work, we aimed to compare the local gasteroid fungal composition among these ecosystems of south Brazil: Araucaria Forest, Lowland Rain Forest, Semideciduous Forest. We chose these ecosystems because they are highly threatened and considered a priority for conservation, due to the intense agricultural activity and extraction of noble wood in semideciduous forest and Araucaria Forest respectively, and real estate speculation in Lowland Rain Forest (Bergamin et al., 2017). Moreover, we aimed to

evaluate the indicator species for each representative locality of these ecosystems and discuss the structure of gasteroid community in these areas.

The hypothesis of this study is that the areas of Lowland Rain Forest have a greater richness of species of gasteroid fungi, because we consider that the richness of a given fungal community may reflect the richness and plant diversity of a particular ecosystem (Gabell and Gabell, 2007; Lodge et al., 1995; Pina-Paez et al. 2013). We expected that Lowland Rain Forest environments showed higher species richness and abundance of gasteroid fungi, since 60% of the total plant richness of the Atlantic Forest area is found in the Lowland Rain Forest ecosystems (Sthemann et al., 2009). Because we believe that the formation of dense litter biomass quantities, together with factors and characteristics of tropical climates of these areas, are ideal conditions for high diversity of gasteroid community in these environments. So, through this study we hope to increase the knowledge of the gasteroid community structure in different forest types in southern Brazil and contribute for encouraging ecological studies of Brazilian mycota for conservation purposes.

2. Materials and methods

2.1 Study area

All parks sampled in the present study, representing fragments of the ecosystems evaluated in this study, have areas with 20 years or more in preservation status.

The Lowland Rain Forest (LRF) occurs along Brazil's Atlantic coast, forming a continuous from the south to the northeast. This region has high biodiversity because of

its latitudinal distribution (Sevegnani et al., 2013). Due to its biodiversity, tropical rain forest is one of the most studied ecosystems for Brazil and for State of Santa Catarina, where it was held part of this study, and holds a high floristic diversity, composed mainly by families *Fabaceae*, *Moraceae*, *Myrtaceae* and *Lauraceae*, being estimated 700 known tree species. *Bromeliaceae* species are abundant in the lower forest strata (Roderjan et al., 2002; Sevegnani et al., 2013). According to climate classification Koppen-Geiser, the local climate is classified as cfa temperate, with well defined cold and hot season, high humidity, rainfall throughout the year and hot summers (Vibrans et al., 2013).

The Araucaria Forest (AF) environments comprise a large part of the southern Brazilian plateau and include the coexistence of representative species of tropical and temperate flora, with marked relevance of *Myrtaceae* and *Lauraceae* elements, but the dominant species in these regions is Brazilian Pine or *Araucaria angustifolia* (*Araucariaceae*). Unlike the Lowland Rain Forest, the Araucaria Forest environments exhibit less complex vegetation, being estimated about 350 tree species known for this ecosystem (Roderjan et al., 2002). The climate of this region is classified Cfb on the Koppen-Geiser system mesothermal, humid, with rainfall evenly distributed throughout the year, and characteristic mild summers of the altitude mountain environments. Negative temperatures may occur during the months from April to November, and, in these regions, frosts are frequent and more severe winters may develop snow (Sonogo et al., 2007).

Semideciduous Forest (SF) ecological concept is conditioned by dual climate seasonality, a tropical with intense summer rains time followed by severe drought, and other subtropical without dry season, but with physiological drought caused by intense cold winter with temperature average of 15° C (Veloso et al., 1992). In this ecosystem,

20 – 50 % of the forest canopy of the trees loses their leaves, strongly modifying the physiognomy of characteristic vegetation known for seasonality. This phenomenon is mostly restrict to the upper strata of the forest and seems to be correlated mostly with historical or current climatic parameters (Roderjan et al. 2002). This is a region considered to be drier than the other forest types mentioned above, with differentiated and more impoverished vegetation, mainly in arboreal life forms presenting reduced numbers of species in the upper strata, generally more open and discontinuous. About 213 tree species are known for this environment, and the most representative families are *Fabaceae* and *Euphorbiaceae*. The presence of lianas is also a marked feature in Semideciduous Forest, represented mainly by *Bignoniaceae*, *Sapindaceae*, *Curcubitaceae* and *Asteraceae* (Roderjan et al., 2002).

Through the geographic coordinates of each study area, climatic data were obtained from the Worldclim databank (Hijmand et al., 2005) to characterize the climate of environments, including: Average annual temperature (Bio1), Maximum temperature of the warmest month (Bio5), Minimum temperature of the coldest month (Bio 6), Annual rainfall (Bio 12), Wettest month rainfall (Bio 13) and Driest month precipitation (Bio 14), see Table 1.

2.2 Sampling

We, hereby, studied the community composition of gasteroid fungi in six remnants of Atlantic Forest, two per forest type (Table 2). The protected areas were selected to represent the fragments of Atlantic Forest ecosystem in southern Brazil: Lowland Rain Forest, Araucaria Forest and Semideciduous Forest (Fig. 1). In these areas, we carried out a collection in summer (January) and another in autumn (May), in the years 2014 and 2015, to capture the seasonal dichotomy and to increase the

number of species detected (Nouhra et al., 2012). In each area were established 10 transects 50×4 m wide and spaced by 10 m. Transect was the sampling unit in this study, sampling two parks per ecosystems, 10 transects in each park, two seasons of the year, over period of two years. Only visible basidiomata at the surface were collected, and individual species collection was defined as a conspecific basidiome group occurring within 50 cm.

For collecting and sorting the materials, we used standardized methods for this group of fungi (Miller and Miller, 1988). Fresh basidiomata were macromorphologically described, photographed in situ whenever feasible, and subsequently dried. Microscopic characters were determined from slide assembly in KOH 5%, examined under light microscope at $1000\times$ magnification. Microscopy procedures and identification of the specimens were carried out at the Mycology Laboratory of the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). All materials collected were deposited in the ICN herbarium (Herbário do Instituto de Biociências of UFRGS).

2.3. Statistical analysis

To estimate gasteroid richness of each forest types at the local level, we calculated rarefaction curves and Chao 2 estimator using 100 permutation sampling units (transects), randomly selected without replacement with Estimates 8.2 (Cowell, 2006). Shannon-Weiner species diversity index were generated for each forest type, in which H is the Shannon diversity index, P_i is fraction of the entire population made up of species i , S is the number of species encountered, Σ is the sum from species 1 to species S , according to the formula:

s

$$H = \sum_{i=1} - (P_i * \ln P_i)$$

The index of species diversity within each forest type was analyzed using a two-way ANOVA between forest type and season. The differences were evaluated with Bonferroni post-hoc test at 5% level of significance, statistical analysis were performed using SPSS version 18. Multivariate analysis, nonmetric multidimensional scaling (NMDS) was used to describe general patterns in the species composition in forest type, choosing the Bray-Curtis distance measure (Minchin, 1987). The suitability of ordination to interpretation was evaluated through the stress value (Kruskal, 1964). These analyses were performed with Vegan package “metaMDS” in the statistical program R version 3.1.2 (Oksanen et al. 2010; R Core Team R, 2014).

The indicator species analysis was conducted with the indicator value index (IndVal). The IndVal is the product of two components called *A* and *B*. Quantity *A* is defined as the mean abundance of the species in the target site group divided by the sum of the mean abundance values over all groups. Quantity *B* is defined as the relative frequency of the occurrence (presence–absence) of the species inside the target site group, according to the formula that follows:

$$A_{ij} = N_{individuals_{ij}} / N_{individuals_i}$$

$$B_{ij} = N_{sites_{ij}} / N_{sites_j}$$

$$IndVal_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

Statistical significance of the relationship between the species and the site group was tested using a permutation test, where the *P*-value <0.05 was considered significant.

These analyses were performed with package “Labdsv” in statistical program R version 3.1.2 (Roberts, 2010; Dufrene and Legendre, 1997; R Core Team R, 2014).

3. Results

A total of 529 specimens of gasteroid fungi were collected, representing five families, 12 genera and 47 species.

Rarefaction curves nearly approached the asymptote for the three ecosystems, suggesting that the sampling design was adequate to detect most of the gasteroid species. In this case, minimal species richness estimated by Chao 2 also approached the asymptote with increasing sample size, indicating an estimate of 25 (AF), 23 (LRF), and 49 (SF) species for each ecosystem, of which were actually found 19, 20 and 38 species for AF, LRF and SF respectively (Fig. 2).

The ANOVA results showed significant differences ($p = < 0.001$) in species diversity of gasteroid fungi in different forest types and the two sampled seasons. The areas of SF have a greater diversity of gasteroid species compared to areas of LRF and AF, which showed no significant difference between them in the year 2014. For the same year, autumn had a higher diversity of species of gasteroid fungi than the summer, as well as significant interaction between ecosystem and season was observed (Fig.3a, Table 3). In 2015, again the SF areas had a greater diversity of species between forest types. However, among seasons, no significant difference was observed (Fig.3b, Table 3).

The ordination analysis of NMDS resulted in a stress value = 0.12, indicating that the diagram was adequate for our interpretation (Fig. 4). This result suggests different species composition among forest types: In AF the species that better explain the

dissimilarity in these areas were *G. entomophilum* (Gent), *G. fimbriatum* (Gfim) and *Crucibulum laeve* (Crlae). For LRF, the dissimilarity is explained by *G.echinulatum* (Gech), *G. hariotii* (Ghar), *G. lloydianum* (Gilloy), *G. schiweinitzii* (Gsch), *Morganella afra* Kreisel & Dring (Mafr), *Morganella sulcatostoma* (Msul), *Munitus argentinus* (Marg), *Phallus indudiatum* (Phind), *Phallus glutinolens* (Phgl) and *Scleroderma* sp. (Scle). In SF, dissimilarity is represented by, *Cyathus berkeleyanus* (Cber), *G. morgani* (Gmor), *G. pectinatum* (Gpec), *G. reinkingii* (Grei), *G. rufescens* (Gruf) and *G. violaceum* (Gvio), *Geastrum* sp. 1 (Gs1), *Geastrum* sp. 2 (Gs2) *Geastrum* sp. 4 (Gs4) and *Geastrum* sp. 5 (Gs5).

Nine species were common to the three forest types, four species were recorded only in the LRF, 6 for areas of AF and 14 species were exclusive for the areas of SF. For all studied areas, the most dominant genus was *Geastrum*, representing 37% of species of AF, 52% of species of LRF and 60% of species of SF. When we analyzed species composition of the sampled fragments and evaluated seasons, we found in LRF that only one species was unique in the summer period, and 7 species occurred exclusively in the autumn. In AF, three species were unique in the summer and 10 species occurred only in the autumn. For areas of SF, we found five unique species of summer, while 12 species were collected only in autumn (Table 4).

The family that presented the highest number of genera was *Agaricaceae*, represented by *Bovista*, *Calvatia*, *Crucibulum*, *Cyathus*, *Lycoperdon*, *Morganella* and *Vascellum*. *Geastraceae* was another family often represented, though with only one genus, *Geastrum*, which represented 48% of the species identified, while most of the remaining identified genera in the study were represented by only one species. The most constant species in the study was *Geastrum saccatum* and *Geastrum lageniforme*,

especially related to SF as shown in the Table 4, where all species are classified according to their abundance for each forest type.

Regarding the investigation of indicator species in the studied environments, our data revealed that 13 (27.6%) of 47 of the analyzed species were significantly related to the type forest. Ten species were considered as characteristic of fragments of SF, including *Geastrum saccatum*, *G. lageniforme* and *Geastrum* sp1., that had the highest value of IndVal index. *Geastrum schweinitzii* is an indicator of LRF, while *Crucibulum laeve* and *Lycoperdon perlatum* are indicators species in AF (Table 5). This is an important result in our study, since there are no studies related to indicator species of gasteroid fungi in Brazil, despite being a widely distributed group in the country, occurring in several ecosystems.

6. Discussion

It is known that about 100 species of gasteroid fungi occur in these regions, based in recently published taxonomic compilations (Cortez, 2009; Meijer, 2010; Trierveiler- Pereira, 2014). In this study we found 47 species. In a similar study in remnants of Atlantic Forest in northeastern Brazil, 16 species were recorded (Trieveiler-Pereira et al., 2013). Currently, there are about 230 known species of gasteroid fungi for Brazil, 54 genera and 16 families, with *Agaricaceae*, *Geastraceae* and *Phallaceae* representing the families with the greatest numbers of species in this order (Trieveiler-Pereira et al., 2009). So, when we look at the composition of species in different ecosystems where gasteroid specimens were collected in the country southernmost states, we can infer some aspects of the structure of gasteroid community in different environments where they were found.

Geastrum (*Geastraceae*) was a relevant taxon during the study and can be considered as a group of broad ecological niche, developing on rotten wood, litter and even totally or partially underground. They may be primarily related to moist environments with temperature ranging from mild to hot in southern Brazil and quite diverse and abundant in areas of LRF and SF, and also occurring in cooler climates areas and altitude as the AF, where they are less diverse. Similar results are found in studies on gasteroid fungi comparing arid, semiarid and humid regions of Mexico and Argentina, where the genus is also considered predominant (Esqueda-Valle et al., 2000; Esqueda et al., 2003; Caffot, 2014 unpublished data). Based on our results, indicator species were mainly represented by *Geastrum*, especially in the SF, indicating that this may be a genus with good potential for future studies of indicator species within Basidiomycota in Brazilian forest ecosystems, since that some species in *Geastrum* had been regarded as termophilic and indicator of xerothermic environments (Tomaszewska et al., 2015). Accordingly, based on our results and ecological aspects known for the genus, the high richness and abundance of the group in the SF fragments might be linked to environmental attributes, such as drier climate of SF in comparison to fragments of LRF and AF.

Among the indicator species defined in this study, *G. lageniforme*, *G. saccatum*, *G. schweinitzii*, *G. triplex* and *Geastrum* sp.1 are considered cryptic species within the genus, with extensive morphological complexity and many phylogenetic uncertainties to be resolved as presented in recent publications of the group (Zamora et al., 2014). However, it is important to consider broadening and deepening the studies focusing on indicator species of fungi in the Brazilian forest, because through these studies we can better understand the pattern of distribution and occurrence of different groups of fungi

in these environments, and increase the list of information on the ecological characteristics of each group, besides of complement taxonomical studies.

Another important family in the study was *Agaricaceae* (gasteroid forms), represented by seven genera. Among these one genus to be highlighted is *Crucibulum*. Their development is related to branches or dead wood and it is represented by only one species in Brazil, *Crucibulum laeve*, which is generally registered to the humid forest of northeastern (Cerrado) and southeastern Brazil (Baseia and Milanez, 2001). However, for the southern region, so far it has been recorded only in areas of AF above 900 m altitude in Rio Grande do Sul (Cortez et al., 2014), and the first time to the Santa Catarina State in area of 1650 m and specially living in stems, fallen branches and leaves of *Araucaria angustifolia*. Unlike most species recorded in this study, *C. laeve* was more observed in the summer period.

Lycoperdon is also a wide distributed group in Brazil, with most of species related to grassland areas, for example, *Lycoperdon marginatum*, only registered for the open areas of grass in southern Brazil (Cortez et al., 2013). Other species appear to be more related to the forest decomposing dead wood, like *Lycoperdon perlatum*, classified as characteristic for areas of AF during this study.

Phallaceae is one the most ephemeral groups within gasteroid fungi and, for that reason, more difficult to find. However, they are considered cosmopolitan and provide greater diversity and abundance in tropical and subtropical forest in the world. Yet, according to Trierveiler-Pereira (2014), members of this group are frequent and abundant in areas of LRF and salt marsh ecosystems in southern Brazil, corroborating with our results that show that, although the group is not diverse, it was constant in environments of LRF, being represented by: *Mutinus argentinus*, *Phallus indusiatus*

and *Phallus glutinolens*. Despite being abundant and frequent for environments of tropical features, *Clathraceae* members were also recorded for AF, for instance *Blumenavia angolensis*, occurring sometimes in the autumn.

When we consider the sampled summer and autumn, our results do not follow an expected pattern, because only in 2014 seasons showed significant differences where the autumn showed greater species diversity. Nevertheless, in a similar study carried out for the gasteroid fungi in the northeastern Brazil comparing dry and wet season, there were no significant differences between these periods (Trierveiler-Pereira et al., 2013). However, the effects of humidity and rainfall in macromycetes richness have been well documented in recent studies (Braga-Neto et al., 2008; Munguia et al., 2006; Gomez-Hernandez and Williams-Linera, 2011). We know that the humidity and precipitation variables have a strong influence on the richness of fungi, while the temperature seems to be a less determining factor (Munguia et al., 2006; Gomez-Hernandez and Williams-Linera, 2011). According to Gomez-Hernández & Williams-Linera (2011), the composition turnover of fungal species over the time is driven, mainly, by the microclimate variation, where the most common species of fungi seem to grow within a narrow range of humidity and temperature.

When we evaluate the results of the diversity of gasteroid fungi community comparing ecosystems, we believe that the assumption that guides this study is not supported, since the areas of LRF do not have greater diversity of gasteroid fungi for the evaluated periods. On the other hand, the area of SF has particular environmental characteristics for climatic physiognomic level in its vegetation, showing the higher diversity during this study. It is difficult to explain exactly what may have influenced the greatest diversity of gasteroid community in these environments, considering that several factors simultaneously act in the microhabitat where these organisms develop.

However, we can infer as one of the main characteristics of these areas, the presence of species of deciduous hardwood trees and a double period of seasonality. We think that these areas also produce larger volumes of dead organic matter in the soil (litter, twigs and fallen logs) at a given period, providing a substrate more diversified and dense for development of gasteroid community compared to the areas of LRF, that have trees and shrubs species, mainly with perennial features. Corroborating this idea, Gomez-Hernández & Williams-Linera (2011) suggested that the structure of woody plants and production of organic matter can affect the richness of macromycetes, due to habitat availability resources and quality of these resources. Thus, the availability of different microhabitats and substrata in different stages of decay, probably influence the diversity of decomposer fungi in tropical forests (Lodge, 1997).

Thus, our work agree with a similar work carried out with the same group of fungi to different environments in Mexico and Argentina, which claims that the type of ecosystems can determine the distribution and diversity of gasteroid mycota (Esqueda-Valle et al., 2000; Gabell and Gabell, 2007), as noted in our NMDS analysis, in which groups are formed with the different forest types. Additionally, it would be ideal to sample throughout the year and for several years in order to document more species of a habitat (Munguia et al., 2006). However, the reasons for high diversity of macromycetes at low altitudes in tropical forests are not always clear (Gomez-Hernández and Williams-Linera, 2011). As observed in other studies, we have to consider that may be drastic differences in species composition and abundance of fungi from year to year in different seasons (Esqueda-Valle et al., 2000).

In this sense, we know that areas of SF had the highest number of indicator species and, in the study and in south Brazil are highly threatened by agricultural activities in these regions. It is known that, currently, the main strategy for nature

conservation is the knowledge of the organisms' dynamics in different ecosystems, as well as establishing and monitoring protected areas based on the richness of data, abundance and endemism of species, besides the presence of endangered and possible indicator species (Sthemann et al., 2009; Tomaszewska et al., 2015). Therefore, we can consider areas of SF with high potential for fungi diversity, despite being poorly explored in this field of science. Therefore, more studies with ecological focus on fungi in Brazilian ecosystems are needed, so that we can understand the occurrence of these organisms, and assist management studies and conservation of endangered environments, such as the ecosystems of the Brazilian Atlantic Forest.

5. Conclusions

This study contributes as one more piece of the large puzzle that is the understanding of the structure and behavior of mycota in Brazilian forest, providing new data as gasteroid fungi indicator species in different forest types of southern Brazil. It also adds support for greater incentive to conservation and management of these ecosystems, severely exploited and almost extinct in southern Brazil.

Acknowledgments

We would like to thank professor Dra. Laura Suzana Toledo Dominguez for her help in identification of materials of *Geastrum*. We also thank friends and colleagues who assisted in the field work, Alice Geralch and Cristiane Seger. The Instituto Chico Mendes (ICMbio), Instituto Ambiental do Paraná (IAP), and Reserva Volta Velha are thanked for permission to collect. We thank the researcher Gilvan Silva de Andrade of Post-graduate Program in Remote Sensing of the UFRGS for map making. Colleagues of the Instituto Multidisciplinario de Biologia Vegetal (CONICET-UNC) are thanked for contributions and development of the project, and the Coordenação de Aperfeiçoamento

de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for financial support and for a researching fellowship.

References

- Alves C. R., Cortez, V. G. 2016. Gasteroid *Phallomycetidae* (Basidiomycota) from the Parque Estadual São Camilo, Paraná, Brazil. *Iheringia, Serie Botânica* 71 (1): 27-42.
- Barron, E. 2011. The emergence and coalescence of fungal conservation social networks in Europe and the U.S.A. *Fungal Ecology* 4, 124–133.
- Baseia, I. G. 2007. A sistemática baseada em dados moleculares: consequências na classificação dos fungos gasteróides. In: Maia, L.C. Malosso, E., Yano-Melo, A. M., *Micologia: Avanços no conhecimento*, Ed. UFPE, Recife, pp. 202–206.
- Baseia, I.G., Milanez, A.I. 2001. *Crucibulum leave* (Huds..) Kambly in Cerrado vegetation of São Paulo, Brazil. *Acta bot. bras.* 15(1), 13–16.
- Bergamin, R.S, Bastazini, V.A.G., Vélez-Martin, E., Debastiani, V., Zanini, K.J., Loyola, R., Müller, S.C. 2017. Linking beta diversity patterns to protected áreas: lessons from the Brazilian Atlantic Rainforest. *Biodivers Conserv* DOI 10.1007/s10531-017-1315-y.
- Borba-Silva, M., Drechsler-Santos, E. R., Robledo, G. L. 2015. Community structure and functional diversity of polypores (Basidiomycota) in the Atlantic Forest of Santa Catarina State, Brazil. *Biotemas* 28 (1), 1–11.
- Braga-Neto, R., Luizão, R. C. C., Magnusson, W. E., Zuquim, G., Castilho, C. V. 2008. Leaf litter fungi in a Central Amazonian forest: the influence of rainfall, soil and topography on the distribution of fruiting bodies. *Biodivers Conserv* 17, 2701–2712.
- Calonge, D. F. 1999. *Setas de Madrid (y alrededores) Gasteromycetes*. Ed. Sociedad Micológica de Madrid, España.
- Cortez, V.G. 2009. *Estudos sobre Fungos Gasteróides (Basidiomycota) no Rio Grande do Sul*. 286 f. Tese (Doutorado em Ciências Botânica) – Programa de Pós-Graduação em Botânica, UFRGS, Porto Alegre.
- Cortez, V.G., Baseia, I.G., Silveira R.M.B. 2013. Gasteroid mycobiota of Rio Grande do Sul, Brazil: *Lycoperdon* and *Vascellum*. *Mycosphere* 4 (4), 745–758.
- Cortez, V.G., Baseia, I.G., Silveira R.M.B. 2014. Gasteroid mycobiota of Rio Grande do Sul, Brazil: Nidulariaceae. *Acta Biol. Par.* 43 (1-2), 1–21.
- Colwell R. 2006. EstimateS 8: statistical estimate of species richness and shared species from samples. <http://purl.oclc.org/estimates>

- Dreschsler-Santos, E. R., Santos, P. J.P., Gibertoni, T.B., Cavalcanti, M. A. Q. 2010. Ecological aspects of Hymenochaetaceae in area of Caatinga (semi-arid) in Northeast Brazil. *Fungal Diversity* 42, 71–78.
- Dufrene, M., Legendre, P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monogr.* 67, 345–366.
- Esqueda, M., Herrera, T., Pérez-Silva, E., Sánchez, A. 2003. Distribution of *Geastrum* species from priority regions for conservation of biodiversity of Sonora, México. *Mycotaxon* 88, 445-456.
- Esqueda-Valle, M., Perez-Silva, E., Herrera, T., Coronado-Andrade, M., Estrada-Torres, A. 2000. Composición de gasteromicetos y un gradiente de vegetación de Sonora, México. *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. Méx. Bot.* 71(2), 39 – 62.
- Ferrer, A., Gilbert, G. 2003. Effect of tree host species fungal community composition in a tropical rain forest in Panama. *Divers. and Distrib.* 9, 455–468.
- Gabell, A.C., Gabell, M.L. 2007. Comparison of Diversity of Macrofungi and Vascular Plants at Seven Sites in the Black Hills of South Dakota. *Am. Midl. Nat.* 157, 258–296.
- Gibertoni, T.B., Santos, P.J.P., Cavalcanti, M.A.Q. 2007. Ecological aspects of Aphilophorales in the Atlantic Rain Forest in Northeast Brazil. *Fungal Diversity* 25, 49 – 67.
- Gibertoni, T. B., Nogueira-Melo, G. S., De Lira, C.R.S., Baltazar, J.M., Santos, P.J.P. 2015. Distribution of poroid fungi (Basidiomycota) in the Atlantic Rain Forest in Northeast Brazil: implications of conservation. *Biodivers Conserv* 24, 2227–2237.
- Gomez-Hernandez, M., Guadalupe, Williams-Linera. 2011. Diversity of macromycetes determined by tree species, vegetation structure, and microenvironment in tropical cloud forests in Veracruz, Mexico. *Botany* 89, 203–216.
- Hijmans R, Cameron S, Parra J, Jones P, Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25, 1965– 1978.
- Karstedt, F., Stürmer, S. L. 2008. Agaricales em Florestas Ombrófila Densa e plantações de *Pinus* no Estado de Santa Catarina, Brasil. *Acta bot. bras.* 22 (4), 1036–1043.
- Kirk, P.M., Cannon, P.F., Minter, D.W., Stalpers, J.A. 2008. *Dictionary of the Fungi*. 10th ed. Wallingford: CABI Publ.
- Kruskal, J. B. 1964. Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method. *Psychometrika* 29, 115 – 129.
- Lodge, D. J. 1997. Factors related to diversity of decomposer fungi in tropical forest. *Biodivers Conserv* 6, 681– 688.
- Lodge, D. J. Chapela, I., Samules, G et al. 1995. A survey of patterns of diversity in non-lichenized fungi. *Mitt. der Eidg. Forsch. anst. Wald Schnee Landsch.* 70, 157–173.

- Meijer, A. A. R. 2010. Preliminary list of the macromycetes from the Brazilian state of Paraná: corrections and updating. *Boletim do Museu Botânico Municipal* 72, 1–9.
- Miller, O.K.; Miller, H.H. 1988. *Gasteromycetes: morphological and developmental features*. Eureka: Mad River.
- Minchin, P. R. 1987. An evaluation of relative robustness of techniques for ecological ordinations. *Vegetation* 69, 89-107.
- Munguia, P., Guzmán, G., Ramírez-Guillén, F. 2006. Seasonal community structure of macromycetes in Veracruz, Mexico. *Ecography* 29, 57– 65.
- Nouhra, E. R., Dominguez, L. S., Graciela, G. D., Longo, S., Trappe, J. M., Claridge, A. W. 2008. Occurrence of ectomycorrhizal, hypogeous fungi in plantation of exotic tree species in central Argentina. *Mycologia* 100 (5), 752–759.
- Oksanen, J. Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., O'Hara, B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Wagner, H. 2010. *Vegan: Community ecology package*. R package version 1, 17-3.
- Piña-Páez C, Esqueda M, Gutierrez A, González-Ríos H. 2013. Diversity of gasteroid fungi in the Sierra de Mazatán, Sonora, México. *The Southwestern Naturalist* 58 (3): 351-356.
- R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2014. <http://www.R-project.org> (accessed Jun 2016)
- Rezende, C. L., Uezu, A., Scarano, F.R., Araujo, D.S.D. 2015. Atlantic Forest spontaneous regeneration at landscape scale. *Biodivers Conserv* 25, 2255 – 2272.
- Rick, J. 1961. Basidiomycetes Eubasidii in Rio Grande do Sul, Brasilia 6. *Iheringia Sér. Bot.* 9, 451–480.
- Roberts, D. W. 2010. *Labdsv: Ordination and multivariate analysis for ecology*. R package version 1. 4-1
- Roderjan, C. V., Galvão, F., Kuniyoshi, Y. S., Hatschbach, G. G. 2002. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. *Ciência e Ambiente*, Santa Maria 1, 75–92.
- Sevegnani, L., Gasper, A. L., Bonnet, A., Sobral, M.G., Vibrans, A. C., Verdi, M., Santos, A.S., Dreveck, D., Korte, A., Schmitt, J., Cadorin, T., Lopes, C.P., Caglioni, E., Torres, J.F., Meyer, L. 2013. Flora vascular da Floresta Ombrófila Densa em Santa Catarina. In: *Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina*, cap.4, v.4, Ed. Edfurb, Blumenau, 127–139.
- Schmit, J. P., Mueller, G. M. 2007. An estimate of the lower limit of global fungal diversity. *Biodivers Conserv* 16, 99–111.
- Sonego, R.C., Backes, A., Souza, A.F. 2007. Descrição da estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil, utilizando estimadores não-paramétricos de riqueza e rarefação de amostras. *Acta bot. bras.* 21 (4), 943–955.
- SOS Mata Atlântica. Mata Atlântica. 2015. <https://www.sosma.org.br> (accessed 06 .10.2015).

- Stehmann, J. R., Forzza, R. C., Salino, A., Sobral, M., Costa, D. P., Kamino, L. H. Y. 2009. Plantas da Floresta Atlântica. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio Janeiro. Rio de Janeiro.
- Tedersoo, L., Bahram, M., Põlme, S., Kõljag, U., Yorou, N.S, Wijesundera, R., Ruiz, L.V., Vasco-Palacios, A., Thu, P.Q., Suija, A., Simith, M.E., Sharp, C., Saluveer, E., Saita, A., Rosas, M., Riit, T., Ratkowsky D., Pritsh K., Põldmaa, K., Piepenbring, M., Phosri, C., Peterson, M., Parts, K., Pärtel, Otsing, E., Nouhra, E., Njouonkon, A. L., Nilsson, R. H., Morgado, L.N., Mayor, J., May, T.W., Majuakim, L., Lodge, D.J., Lee, S.S., Larsson, K.H., Kohout, P., Hosaka, K., Hiiesalu, I., Henkel, T.W., Harend, H., Guo, L., Greslebin, A., Grelet, G., Geml, J., Gates, G., Dunstan, W., Dunk, C., Drenkhan, R., Dearnaley, Kesel, A., Dang, T., Chen, X., Buegger, F., Brearley, F.Q., Bonito, G., Auslan, S., Abell, S., Abarenkov, K.. 2014. Global diversity and geography of soil fungi. *Science* 346, p.1078.
- Tomaszewska, A., Łuszczynski, J., Lechowicz, L., Chrapek, M. 2015. Selected rare and protected macrofungi (*Agaricomycetes*) as bioindicators of communities of xerothermic vegetation in the Nida Basin. *Acta Mycologica*.50 (1), 1–12.
- Trierveiler-Pereira, L., Baseia, I.G. 2009. A checklist of the Brazilian gasteroid fungi (*Basidiomycota*). *Mycotaxon* 108, 441– 444.
- Trierveiler-Pereira, L., Santos, P.J.P., Baseia, I.G. 2013. Ecological aspects of epigeous gasteromycetes (*Agaricomycetes*, *Basidiomycota*) in four remnants of the Brazilian Atlantic Forests. *Fungal Ecology* 6, 471–478.
- Trierveiler -Pereira, L. 2014. Estudos morfológicos e moleculares de *Phallales* e *Geastrales* (*Phallomycetidae*, *Gasteromycetes*) com ênfase em espécies da Região Sul do Brasil. Tese (Doutorado em Ciências Botânica) – Programa de Pós-Graduação em Botânica, UFRGS, Porto Alegre.
- Veloso, H.P., Rangel - Filho, A.L.R., Lima, J.C.A. 1992. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. IBGE. Rio de Janeiro.
- Vibrans, A. C., Sevegnani, Gasper, A. L., Lingner, V. 2013. Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina. Ed. Edfurb. Blumenau.
- Zamora, J. C., Calonge, F. D., Hosaka, K., Martín, M. P. 2014. Systematics of the genus *Geastrum* (Fungi: *Basidiomycota*) revisited. *Taxon* 63 (3), 477– 497.
- Zhang ,Y., Zhou, D. Q., Zhao, Q., Zhou, T. X., Hyde, K. D. 2010. Diversity and ecological distribution of macrofungi in the Laojun Mountain region, southwestern China. *Biodivers Conserv* 19, 3545–3563.

Table 1. Averages of climate variables of the six protected area of study. The variables are represented by Bio1- Average annual temperature, Bio5- Maximum temperature of the warmest month, Bio 6 - Minimum temperature of the coldest month, Bio 12- Annual precipitation, Bio 13 - Wettest month rainfall and Bio 14 - Driest month precipitation. Araucaria Forest (AF), Lowland Rain Forest (LRF) and Semideciduous Forest (SF).

Park	Bio 1	Bio 5	Bio 6	Bio 12	Bio 13	Bio 14
P. L. Peri (LRF)	19. 8° C	27. 7° C	12.7° C	1404 mm	205 mm	71 mm
R.V. Velha (LRF)	21.1° C	29° C	13.3° C	1857 mm	273 mm	82 mm
F.S.F. Paula (AF)	15. 3°C	24.7° C	6.5° C	2039 mm	194 mm	137 mm
P.São Joaquim (AF)	14. 2° C	23. 4° C	5.9° C	1689 mm	189 mm	109 mm
P.N. Iguçu (SF)	19.7° C	30.8° C	8.0° C	1840 mm	231 mm	107 mm
P.E.São Camilo (SF)	20.9° C	31.1° C	9.7° C	1515 mm	172 mm	73 mm

Table 2. Representative protected areas of studied ecosystems, Paraná State (PR), Santa Catarina State (SC) and Rio Grande do Sul State (RS).

Park	Coord.	Altitude	Forest type
P.M.Lagoa do Peri (SC)	27° 43' 6 30" S 48° 32' 18" W	3 m	Lowland Rain Forest
Reserva Volta Velha (SC)	26° 04' 18.60" S 48° 40' 14.76" W	5 m	Lowland Rain Forest
FLONA São Francisco de Paula (RS)	29° 25' 22" S 50° 23' 11" W	900 m	Araucaria Forest
PARNA São Joaquim (SC)	28° 08' 04" S 49° 28' 47" W	1650 m	Araucaria Forest
Parque Nacional de Foz do Iguaçu (PR)	25° 41' 00" S 54° 26' 00" W	164 m	Semideciduous Forest
Parque Estadual São Camilo (PR)	24° 18' 48" S 53° 54' 49" W	280 m	Semideciduous Forest

Table 3: Summary of result tow-way ANOVA, with Shannon diversity index as the dependent variable and with the effect of year, among forest types (FT) and season. Significance level = $p < 0.001$, significant value are in bold.

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable:Shannon						
Year	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
2014	Corrected Model	,034 ^a	5	,007	36,489	,000
	Intercept	,051	1	,051	278,851	,000
	Forest type	,007	2	,004	19,805	,000
	Season	,007	1	,007	39,010	,000
	FT * Season	,010	2	,005	25,952	,000
	Error	,013	71	,000		
	Total	,126	77			
	Corrected Total	,047	76			
2015	Corrected Model	,010 ^b	5	,002	9,158	,000
	Intercept	,052	1	,052	243,175	,000
	Forest type	,005	2	,003	12,097	,000
	Season	,002	1	,002	7,750	,007
	FT * Season	,002	2	,001	4,729	,012
	Error	,015	70	,000		
	Total	,090	76			
	Corrected Total	,025	75			

a. R Squared = ,720 (Adjusted R Squared = ,700)

b. R Squared = ,395 (Adjusted R Squared = ,352)

Table 4. List of species and occurring in ecosystems and their classification abundance. Light gray boxes: little abundant with less 10% the transect. Dark gray boxes: abundant species up to 25% the transect. Color black boxes: represent species very abundant in 50% the transect . (*) Species that occur only in a related ecosystem season. Lowland Rain Forest (LRF), Araucaria Forest (AF), Semideciduous Forest (SF), summer (●) and (◆) autumn.

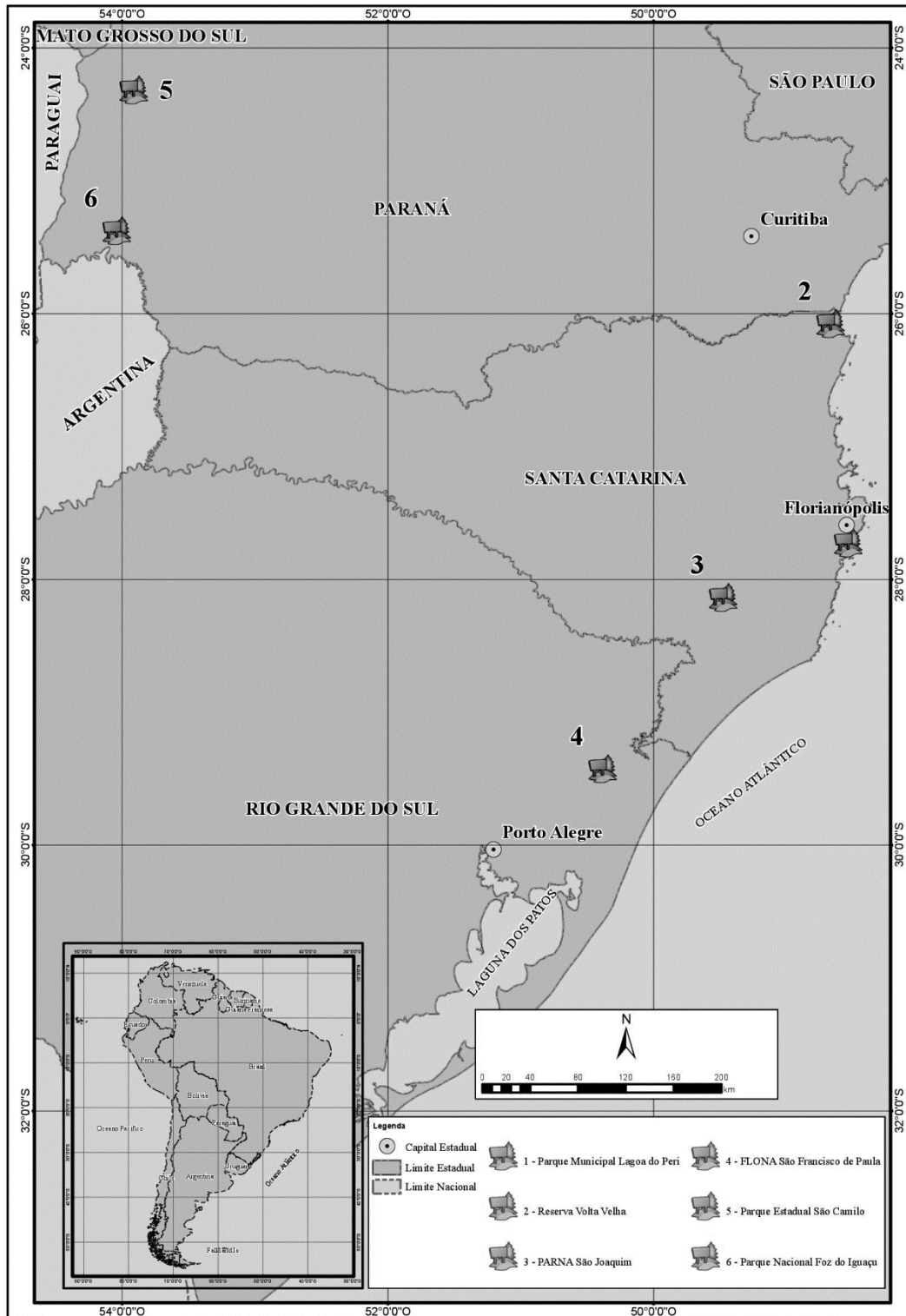
List of species	Acronyms	LRF	●	◆	AF	●	◆	SF	●	◆
<i>Blumenavia angolensis</i>	Blan				Light gray	*				
<i>Bovista aestivalis</i>	Bvae	Dark gray			Light gray			Light gray		*
<i>B. capensi</i>	Bvca				Light gray		*			
<i>B. dominiscensis</i>	Bvdo	Light gray		*						*
<i>Bovista</i> sp.1	Bv1				Light gray					*
<i>Calvatia guzmanii</i>	Cvguz							Light gray		
<i>Calvatia rugosa</i>	Cvrug				Dark gray			Dark gray		
<i>Crucibulum laeve</i>	Crlae				Dark gray					
<i>Cyathus berkeleyanus</i>	Cber							Light gray		
<i>C. cf. limbatus</i>	Clim				Light gray	*				
<i>C. montagnei</i>	Cmon							Light gray	*	
<i>C. poeppigii</i>	Cpoe							Light gray		*
<i>Cyathus</i> sp.	Csp	Light gray		*				Light gray		
<i>Geastrum echinulatum</i>	Gech	Dark gray			Light gray		*	Light gray		
<i>G. entomophilum</i>	Gent	Dark gray			Light gray		*	Light gray		
<i>G. fimbriatum</i>	Gfim	Light gray		*	Light gray		*	Light gray		
<i>G. hariotii</i>	Ghar	Light gray		*				Light gray		*
<i>G. cf. javanicum</i>	Gjav							Light gray	*	
<i>G. lageniforme</i>	Glag	Dark gray			Light gray		*	Black		
<i>G. cf. lloydianum</i>	Glloy							Light gray		*
<i>G. morgani</i>	Gmor							Light gray		
<i>G. ovalisporum</i>	Gova							Light gray		
<i>G. pectinatum</i>	Gpec							Light gray		*
<i>G. reinkingii</i>	Grei							Light gray		*
<i>G. rufescens</i>	Gruf							Light gray		*
<i>G. saccatum</i>	Gsac	Dark gray			Light gray		*	Black		
<i>G. setiferum</i>	Gset							Light gray		
<i>G. schweinitzii</i>	Gsch	Dark gray						Light gray		
<i>G. trichiferum</i>	Gtric							Light gray		
<i>G. triplex</i>	Gtri	Light gray			Dark gray		*	Dark gray		
<i>G. violaceum</i>	Gvio	Light gray		*				Dark gray		
<i>Geastrum</i> sp.1	Gs1							Dark gray		
<i>Geastrum</i> sp. 2	Gs2							Light gray	*	
<i>Geastrum</i> sp. 3	Gs3				Dark gray		*	Dark gray		
<i>Geastrum</i> sp. 4	Gs4							Light gray	*	
<i>Geastrum</i> sp. 5	Gs5							Light gray		*
<i>Lycoperdon perlatum</i>	Lyper				Dark gray			Dark gray		
<i>Morganella afra</i>	Mafr	Dark gray						Dark gray		

<i>M. fuliginea</i>	Mful							
<i>M. pyriforme</i>	Mpyr			*		*		*
<i>M. sulcatostoma</i>	Msul		*					
<i>Mutinus argentinus</i>	Muarg							*
<i>Phallus indusitatus</i>	Phind						*	
<i>P. glutinolens</i>	Phgl	*						
<i>Vascellum hyalinum</i>	Vhya				*			
<i>V. pratense</i>	Vpra				*			
<i>Scleroderma</i> sp.	Scle		*					

Table 5. List of indicator species and their value index IndVal for each forest type, Semideciduous Forest (SF), Lowland Rain Forest (LRF) and Araucaria Forest (AF).

Site group	Species	IndVal	P -value
SF	<i>Geastrum saccatum</i>	0.4285	0.001
SF	<i>G.lageniforme</i>	0.4162	0.001
SF	<i>Geastrum</i> sp. 1	0.2625	0.001
SF	<i>G. triplex</i>	0.1120	0.006
SF	<i>G. violaceum</i>	0.0787	0.006
SF	<i>Geastrum</i> sp. 3	0.0765	0.010
SF	<i>G. ovalisporum</i>	0.0750	0.004
SF	<i>G. cf. javanicum</i>	0.0500	0.041
SF	<i>C. berkeleyanus</i>	0.0500	0.033
SF	<i>G. morganii</i>	0.0500	0.030
LRF	<i>G. schiweinitzii</i>	0.1882	0.001
AF	<i>Crucibulum leave</i>	0.1500	0.001
AF	<i>Lycoperdon perlatum</i>	0.0868	0.017

Figure 1. Localization maps in the region southern Brazil and sampled area. State of State of Paraná, Rio Grande do Sul and Santa Catarina. The number represents areas of 1-2 Lowland Rain Forest, 3-4 areas of Araucaria Forest and, 5-6 areas of Semi-deciduous Forest.



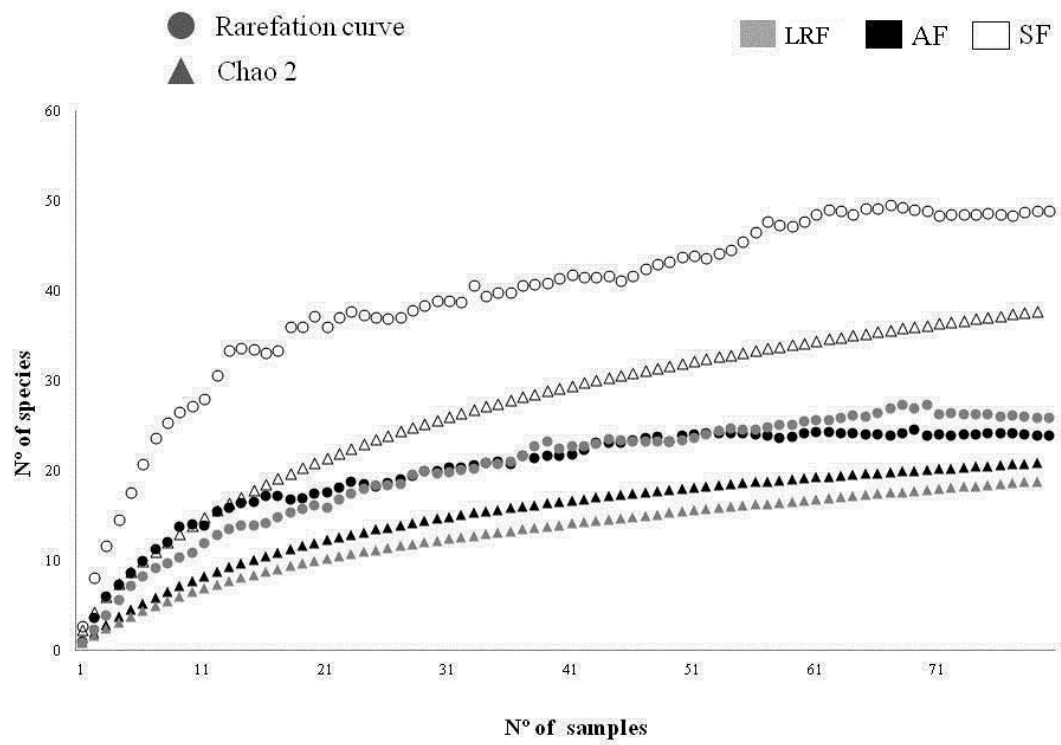


Figure 2. Rarefaction curve and richness of gasteroid fungi estimator Chao 2. Araucaria Forest (AF), Lowland Rain Forest (LRF) and Semideciduous Forest (SF).

Figure 3 a)

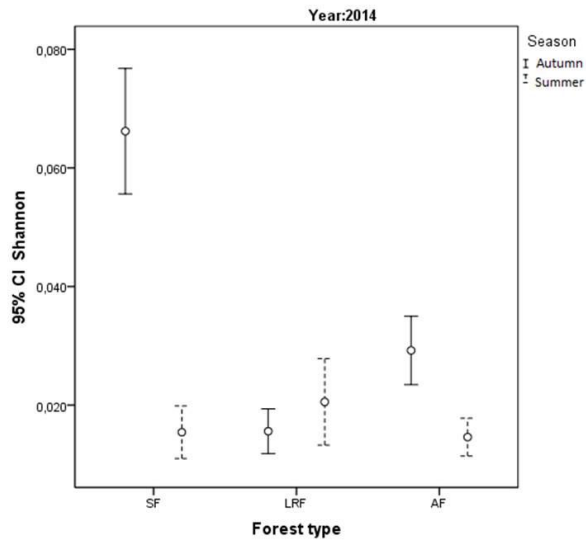


Figure 3 b)

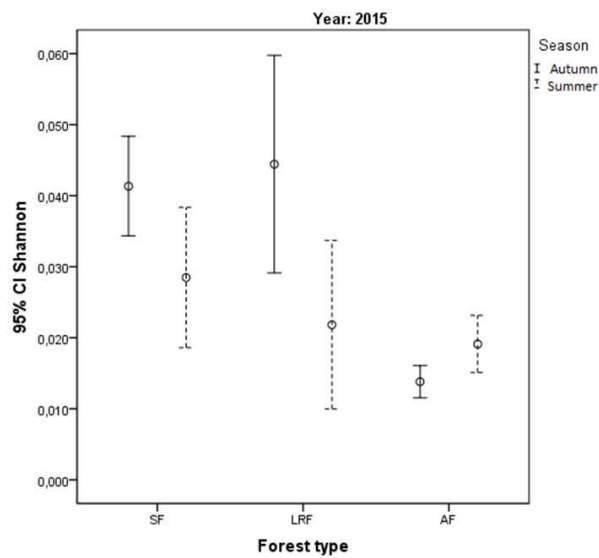


Figure 3. Graphic results tow-way ANOVA with Shannon-Winner diversity index as the dependent variable, for the year 2014(a) and year 2015 (b). Forest types: Araucaria Forest (AF), Lowland Rain Forest (LRF) and Semideciduous Forest (SF) and seasons: Autumn and summer.

NMDS/Bray-Stress = 0.128

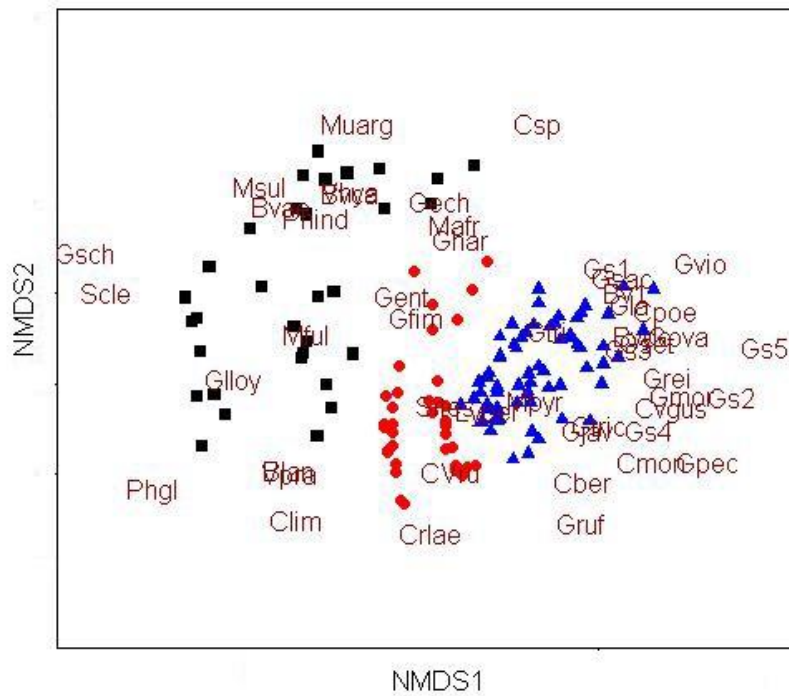


Figure 4. NMDS biplot of a Bray-Curtis dissimilarity matrix of the species abundance data. Represented by black squares (LRF), red circles (AF) and blue triangles (SF), to identify the acronyms of species in the groups check Table 4.

6. Capítulo 2: Revisão dos estudos ecológicos em fungos gasteroides e aspectos para conservação.

Manuscrito a ser submetido à revista *Fungal Biology Reviews*.

Revisão dos estudos ecológicos em fungos gasteroides e aspectos para conservação

Camila R. Alves^{a,*}, Carlos Urcelay^b & Rosa Mara B. da Silveira^c

^a Universidade Federal do Rio Grande do Sul , Programa de Pós-Graduação em Botânica . Av. Bento Gonçalves, 9500 Campus do Vale CEP: 91501-970 Porto Alegre – RS, Brasil

^b Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (CONICET - UNC)
Casilla de Correo 495 - X5000 – Córdoba - Argentina

^c Universidade Federal do Rio Grande do Sul , Departamento de Botânica . Av. Bento Gonçalves, 9500 Campus do Vale CEP: 91501-970 Porto Alegre - RS Brasil

*Autor correspondente:

Endereço de e-mail: cra.micologia@gmail.com (C.R. Alves)

Endereço atual: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Botânica . Av. Bento Gonçalves, 9500 Campus do Vale CEP: 91501-970 Porto Alegre – RS, Brasil.

Tel.: 00 + 55 (51) 3308-7563

Resumo

No presente estudo, revisamos os trabalhos relacionados à ecologia de fungos gasteroides realizados em diversas partes do mundo. No intuito de elencar possíveis padrões de distribuição, assim como fatores ambientais já testados que orientam a composição e estrutura na comunidade gasteroide nos diferentes ecossistemas onde ocorrem. Além de incentivar estudos ecológicos sobre macrofungos no Brasil, através da perspectiva da conservação. Para isso foram selecionados trabalhos publicados a partir do ano 2000, que tenham utilizado ferramentas da ecologia nos levantamentos da comunidade gasteroide. Acreditamos que trabalhos de revisão sejam o primeiro passo para desenvolvermos estudos mais densos no futuro, e ao mesmo tempo contribuem para que tenhamos uma visão mais clara sobre o atual estado da arte sobre as comunidades fúngicas nos ambientes onde se desenvolvem, da mesma forma, estas informações também podem ser úteis como instrumento para incentivo e aplicabilidade nas políticas de conservação de ecossistemas ameaçados.

Palavras-chave: ecologia de fungos, ecossistemas, espécies-chave, preservação, *Tulostoma*, *Geastrum*

1. Introdução

O Reino Fungi é um dos mais diversos grupos de organismos na Terra, integrantes dos ecossistemas que governam os ciclos do carbono no solo, nutrição das plantas e patologias. Os fungos estão amplamente distribuídos em todos os ecossistemas terrestres, e apesar da sua importância no funcionamento dos ecossistemas e grande diversidade, estimada em 1.5 milhões de espécies, o conhecimento sobre os padrões gerais de diversidade, dinâmica de funcionamento, assim como distribuição das espécies, e grupos funcionais tem sido pobremente documentado (Howksworth *et al.*, 2001; Tedersoo *et al.*, 2014). Entretanto, as interações entre macrofungos e os ecossistemas têm sido investigadas utilizando numerosos métodos, contudo ainda existem grandes lacunas na construção do entendimento fungo-vegetação-solo. E essa falta de conhecimento sobre a diversidade total de fungos, e das associações dentro dos ecossistemas é devida, em parte, a falta de estudos sobre diversidade fúngica no mundo todo (Crabtree *et al.*, 2010). Segundo Tedersoo *et al.* (2014) fatores climáticos, seguidos por padrões edáficos e espaciais, são os melhores preditores da riqueza de fungos no solo, assim como a composição da comunidade em uma escala global.

Stenlid (2008), afirma que o conhecimento da dinâmica populacional é deficiente e destacam que dados como a duração média e tamanhos dos micélios, tamanhos das populações e dinâmica de dispersão estão faltando, ou são muito escassos para a maioria dos grupos de fungos, dificultando a estimativa das tendências das populações e os riscos de extinção. Além disso, diversos grupos de macrofungos são taxonomicamente mal resolvidos mesmo em regiões bem investigadas como a Europa. A taxonomia de grupos importantes de Basidiomycota decompositores está longe de ser resolvida em muitas outras regiões, a exemplo dos trópicos onde o conhecimento básico sobre a diversidade de espécies está apenas começando (Boddy *et al.*, 2008). Neste sentido, os estudos ecológicos que envolvem dinâmicas e estruturas das comunidades fúngicas nos ecossistemas vêm aumentando, e sendo utilizados como mais uma ferramenta em estudos de áreas prioritárias para conservação (Olsson *et al.*, 2010; Piña-Páez *et al.*, 2013; Esqueda *et al.*, 2003). Contudo, sabendo que Basidiomycota é um importante grupo dentro dos fungos, pois abrange diversos táxons com diferentes funções nos ecossistemas, principalmente simbióticos e saprófitos (Boddy *et al.*, 2008);

pensamos que talvez seja urgente começarmos a estudar estes grupos com a perspectiva da ecologia e da conservação.

Dentro de Basidiomycota, os principais estudos relacionados à ecologia são realizados com fungos de madeira (Heilmann-Clausen & Boddy, 2008). No entanto, nos últimos anos alguns estudos têm sido desenvolvidos com Gasteromicetos, principalmente para regiões desérticas do México, também são conhecidos alguns trabalhos para Argentina, Brasil, Polônia e Suécia. Sendo parte destes trabalhos voltados ao estudo de áreas prioritárias para conservação, assim como a espécies gasteroides como indicadoras de ambientes.

Considerando a limitada bibliografia referente a estudos ecológicos de fungos de uma maneira geral, e de gasteroides para o Brasil, acreditamos ser importante aprofundar e ampliar os estudos de incentivo a conservação. No entanto, primeiro é preciso entender a dinâmica das comunidades gasteroides nos diferentes ambientes onde foram estudadas. Para isso, buscamos no presente trabalho revisar a bibliografia que aborda aspectos ecológicos de fungos gasteroides em distintos ambientes de países ao redor do mundo. Desta forma, podemos inferir sobre um possível padrão dos principais fatores que orientam a distribuição e composição dos fungos gasteroides, assim como os principais grupos e sua preferência por determinado ambiente. Pretendemos então, auxiliar e incentivar estudos futuros com fungos gasteroides e outros macrofungos nas florestas e outros ecossistemas brasileiros.

2. Fungos Gasteroides

Gasteromicetos é um grupo morfológico de fungos de natureza polifilética dentro de Basidiomycota, de hábito terrestre, epígeo e hipógeo, parcialmente saprófitos e parcialmente ectomicorrízicos, considerado cosmopolita (Kirk *et al.*, 2008). Os fungos gasteroides vêm sendo intensamente estudados ao nível taxonômico e filogenético nos últimos anos por diversos especialistas do mundo todo (Hibbett *et al.*, 2006; Hosaka *et al.*, 2006, Trierveiler-Pereira *et al.*, 2014, Zamora *et al.* 2014). No Brasil, o grupo foi bastante estudado principalmente em levantamentos para as regiões Nordeste e Sul do país (Baseia & Galvão, 2002; Cortez, 2009a; Meijer, 2006, 2010; Alves & Cortez, 2014,2016). Recentemente, estudos com abordagem ecológica sobre o grupo estão surgindo em diversos países, conforme mencionado anteriormente, com dois objetivos principais: 1) Incentivar políticas de conservação de fungos, através dos estudos da diversidade de macrofungos, espécies endêmicas, espécies ameaçadas e espécies

indicadoras e 2) Incentivar a inclusão de estudos da micota como uma ferramenta legal a mais, na preservação de ecossistemas ameaçados.

Neste sentido, pensamos que o primeiro objetivo representa um passo importante nos estudos da micota, visto que, os conceitos, normas e estratégias, utilizadas para inserir espécies de plantas e animais em listas de espécies ameaçadas, vulneráveis, em perigo de extinção, ou até mesmo indicadoras, geralmente não se enquadram para os fungos. De acordo com Heilmann-Clausen & Vesterholt (2008) problemas associados à avaliação do risco de extinção para fungos, aplicado aos critérios da União Internacional para Recursos da Conservação da Natureza (UICN) vêm sendo bastante discutidos, e sendo um desafio na construção de possibilidades práticas em micologia da conservação. Contudo, é interessante que comecemos a testar estratégias de estudos ecológicos e de monitoramento de macrofungos nos ecossistemas a serem preservados para assim elencarmos os principais táxons nestas áreas, grupos funcionais, periodicidade, sazonalidade, entre outras características ainda não avaliadas e que podem auxiliar na classificação e caracterização da comunidade fúngica local e o atual estágio de conservação, assim como aprimorar metodologias a serem aplicadas nestes estudos.

Dessa maneira, contribuindo efetivamente para a inclusão dos macrofungos em estudos de áreas prioritárias para conservação, conforme vem sendo proposto em estudos recentes guiados pelo objetivo dois, supracitado. De acordo com Esqueda *et al.* (2012) muitas espécies de gasteromicetos se caracterizam por serem xerófilos. Da mesma maneira, Piña-Páez *et al.* (2013) afirmam que o grupo exibe uma notável adaptação a ambientes xéricos. Diversas espécies que apresentam como características textura coriácea a semi-lenhosa, que permite que cresçam em ambientes de deserto, são descritas neste estudo. Piña-Páez *et al.* (2013) também constataram que, cerca de 41% dos fungos gasteroides pertencem a ambientes xéricos do estado de Sonora, no México, 34% foram registrados em áreas de florestas temperadas com pinheiro e carvalho e 9% são conhecidos para áreas de pastagens e florestas estacionais semidecíduais, enquanto que 3% foram coletados em ambientes urbanos e vegetação riparia.

Com base em estudos como esses podemos começar a pensar em termos de Brasil. Qual a estrutura da comunidade gasteroide nos ecossistemas brasileiros? Quais os grupos que poderiam ser tratados como indicadores de ecossistemas? Qual o significado da abundância de determinados grupos nos ecossistemas? Essas são perguntas chave para começarmos os nossos estudos em ecologia e conservação de

macrofungos no país, os quais ainda não são habitualmente incluídos em nossos levantamentos sobre a micota brasileira.

3. Estudos ecológicos com fungos gasteroides

Sabendo da carência de estudos ecológicos sobre macrofungos no Brasil, e principalmente em fungos gasteroides, pensamos que uma revisão destes estudos seria útil para orientar os próximos passos nesta área, ainda obscura para a micologia brasileira. Neste sentido, optamos por compilar os principais trabalhos em fungos gasteroides a partir do ano 2000, que tivessem utilizado ferramentas e metodologias da ecologia para descrever a estrutura e composição da comunidade gasteroide nos ambientes onde ocorrem (Tabelas 1 e 2). De acordo com Aguilar-Tigueros *et al.* (2015) a ecologia de fungos está atrasada no uso de características para compreender os processos ecológicos. Entre os micologistas, os esforços estão aumentando para implementar abordagens baseadas tanto em características conceituais quanto empíricas. Ainda de acordo com os autores, a compreensão mecanicista, permitirá responder perguntas como: Quais as reais consequências na perda da diversidade fúngica em termos de funcionamento dos ecossistemas? Podemos prever as mudanças na comunidade fúngica devido às mudanças climáticas ou de uso da terra? Podemos manipular as comunidades fúngicas para melhor apoiar os processos ecossistêmicos? Neste sentido, assim como Aguilar-Tigueros *et al.* (2015) propuseram em seu estudo de revisão, nós também acreditamos que as características aqui resumidas para fungos gasteroides são apenas um ponto de partida para estudos futuros; onde possamos detectar padrões relevantes do grupo, compartilhar as informações com micólogos especialistas e ecologistas, e assim usá-las para entender os processos ecológicos em fungos gasteroides e demais macrofungos nos ecossistemas brasileiros. Então, futuramente, conforme proposto por Aguilar-Tigueros *et al.* (2015), através de reuniões micológicas discutirmos sobre características, metodologias relevantes e efetivas a serem utilizadas nos estudos de ecologia de fungos, permitindo a integração de dados em diferentes ambientes, bem como criar protocolos para estes estudos.

4. A Comunidade gasteroide e os ecossistemas relacionados

Com base nos resultados dos estudos compilados, confirma-se o que já foi constatado em outros estudos de macromicetos. A composição da comunidade gasteroide se altera conforme o tipo de vegetação. No entanto, os padrões e fatores específicos diretos que influenciam na distribuição destas comunidades ainda não estão claros. Nos últimos anos, estudos com a comunidade gasteroide, vêm testando características físicas e químicas do solo, assim como fatores climáticos e estrutura vegetacional e relacionando com a composição dos fungos gasteroide desses locais (Esqueda-Valle *et al.*, 2000).

Até o momento conforme a literatura revisada não é possível inferir um padrão geral para os grandes grupos de gasteromicetos, devido à carência de estudos relacionados. Porém, três gêneros merecem destaque no presente estudo: *Disciseda*, *Geastrum* e *Tulostoma*, os quais parecem estar bem adaptados a áreas que variam de semiáridas a ambientes desérticos, principalmente para ecossistemas do México, onde o grupo foi mais bem estudado do ponto de vista ecológico. Assim como o Brasil, o México também é considerado (o quarto país) detentor de áreas com maior biodiversidade do mundo (Esqueda *et al.*, 2011). Sendo o estado de Sonora uma das regiões mais estudadas e conseqüentemente a mais rica em espécies de cogumelos. No entanto, o grupo mais conhecido são os gasteromicetos, que estão bem representados em áreas da região árida e semiárida do Estado. Cerca de 200 espécies de gasteromicetos são conhecidas para o México, 100 destas são registradas para Sonora (Esqueda *et al.* 2003). Segundo Esqueda *et al.* (2006), mais de 50% da área de Sonora corresponde ao Deserto de Sonora, estas regiões são consideradas deserto tropical-subtropical, sendo o Deserto de Sonora um dos biomas mais importantes da América do Norte, que abrange desde o sudoeste dos EUA até o noroeste do México (Esqueda *et al.*, 2012).

De uma forma geral, destacamos aqui padrões observados nos estudos para espécies de *Disciseda*, *Geastrum* e *Tulostoma*. Estes gêneros foram frequentemente relacionados à região de deserto e semideserto de Sonora no México, região do Chaco Argentina, áreas de campo na Suécia, áreas de pastagens xerotérmicas na Polônia e áreas do semiárido a florestas densas e estacionais ao longo do Brasil. No entanto, dentre estes, *Tulostoma* é o gênero que mais se destaca na maioria dos estudos

analisados. Em grande parte das áreas com características áridas a semiáridas amostradas, que apresentaram maior riqueza e abundância de fungos gasteroides no México e Argentina, muitas das espécies que compunham essa riqueza pertenciam a *Tulostoma* (Esqueda-Valle *et al.*, 2000; Esqueda *et al.*, 2012; Piña-Paez *et al.*, 2013; Tomaszewska *et al.*, 2015).

Da mesma forma que *Tulostoma*, *Geastrum* pode ser considerado o segundo grupo mais relevante para as demais micotas avaliadas nos estudos compilados. Porém, o gênero parece preferir ambientes de características mais úmidas a semiáridas, sendo destaque em áreas de Floresta Caducifolia no México, Chaco úmido na Argentina, remanentes de Floresta de planície e florestas Estacionais Semidecíduais no Brasil (Caffot, 2014; Esqueda *et al.*, 2003; Esqueda *et al.*, 2006; Trieveiler-Pereira *et al.*, 2013). Algumas espécies do gênero se destacaram por apresentar um padrão em comum, como ampla distribuição e frequência nos países onde ocorrem, sendo essas: *G. saccatum*, *G. lageniforme* e *G. triplex* (Sunhede, 1989; Esqueda *et al.*, 2003; Esqueda *et al.*, 2009; Piña-Paez *et al.*, 2013). Por outro lado, no gênero também são conhecidas espécies consideradas restritas a um habitat, como é o caso de *G. fornicatum* e *G. xerophilum* (Esqueda *et al.*, 2003). No estudo de Trieveiler-pereira *et al.* (2013) para o nordeste brasileiro, *Geastrum xerophilum*, também foi considerado restrito para a região em áreas de solo arenoso e condições desérticas. *Disciseda* é um gênero considerado cosmopolita, assim como os demais supracitados, porém parecendo ser mais restrito a áreas de campo, podendo se estender a ecossistemas áridos, sendo comum o uso de espécies do gênero em estudos de bioindicação em áreas de campo xerotérmico na Polônia e Suécia (Olsson *et al.*, 2010; Tomaszewska *et al.*, 2015.)

Destacamos também a baixa diversidade de fungos gasteroides encontrada em áreas de altitude, conforme relatado por Trieveiler-pereira *et al.* (2013), Piña-Paez *et al.* (2013) e Alves *et al.* (dados não publicados), principalmente quando relacionado a florestas de coníferas. De acordo com Piña-Paez *et al.* (2013), os gêneros mais frequentemente observados nestas áreas são *Lycoperdon*, *Scleroderma* e *Cyathus*, os quais foram considerados pelos autores de distribuição restrita a climas temperados e exclusivos para Florestas de Carvalho no México. No entanto, no Brasil em estudos preliminares, *Lycoperdon* também parece estar mais relacionado a áreas de altitude e Florestas com Araucária, porém também sendo frequente em áreas de campo (Cortez *et al.*, 2013a). Uma alta riqueza de *Cyathus* é conhecida para o nordeste brasileiro principalmente para áreas do Cerrado, na Região Sul do país algumas espécies são

frequentemente associadas a áreas de Floresta Ombrófila Mista e Florestas Estacionais Semidecíduais (Baseia & Milanez, 2001; Cortez *et al.*, 2013b).

Quando ampliarmos esse panorama parcial de informações sobre a distribuição dos principais grupos de gasteromicetos epigeos e os ambientes relacionados, poderemos começar a pensar nestes gêneros como possíveis indicadores do estágio de conservação em ecossistemas brasileiros. No entanto, é necessário verificar inicialmente suas distribuições ao longo do Brasil, conforme apresentado no mapa preliminar para *Disciseda*, *Geastrum* e *Tulostoma* (Figuras, 1-3). Caracterizar a comunidade gasteroide destas áreas, identificar áreas prioritárias para conservação, assim como realizar estudos do grupo em áreas que já estão em processo de conservação é necessário para ajustar as estratégias e ampliar o conhecimento sobre a dinâmica do grupo nestes ecossistemas.

Os fungos gasteroides brasileiros apesar de serem bastante estudados taxonomicamente, estão subamostrados em diversas regiões e ecossistemas (assim como a maioria dos macrofungos), sendo assim, é necessário expandir os estudos com o grupo para que se possa obter um quadro mais completo da distribuição e composição deste grupo nos ecossistemas brasileiros. Visto que, ainda são poucos os registros de *Disciseda* para o Brasil, as oito espécies conhecidas estão distribuídas em áreas de campo na Região Sul do país ou Caatinga no Nordeste brasileiro (Figura 1). O mesmo pode ser observado para *Tulostoma*, com 17 espécies conhecidas para o país, onde sua distribuição se dá predominantemente em áreas do semiárido brasileiro e áreas abertas da Região Sul do país (Figura 3), porém algumas espécies podem ocorrer em ambientes de florestas (Cortez *et al.*, 2009b). Assim como para os demais estudos aqui compilados, *Geastrum* também parece ser um importante táxon na micota brasileira, visto que apresenta uma ampla distribuição no país, ocorrendo em diferentes ecossistemas. No entanto, parece apresentar uma composição diferenciada nestes ambientes (Baseia *et al.*, 2003).

Por fim, quando observada a sazonalidade do grupo nos trabalhos relacionados à comunidade gasteroide, a riqueza e abundância das espécies seguem o padrão geral de macromicetes, onde os períodos chuvosos são de maior ocorrência do grupo, sendo estes o verão no México, primavera e verão na Suécia, e o outono na Argentina e Brasil. Entretanto, nem sempre essa premissa se confirma conforme observado por Trieveiler-pereira *et al.* (2013) quando testaram a diferença da riqueza gasteroide em períodos úmidos e secos para o nordeste brasileiro, não foram encontradas diferenças significativas. Contudo, de acordo com Gomez-Hernandes & Williams-Linera (2011)

estudos em regiões tropicais têm apresentado mudanças sazonais em comunidades fúngicas e a distribuição de espécies dentro de grupos funcionais estão correlacionados com a precipitação e tipo de vegetação (Munguía *et al.*, 2006). Piña-Paez *et al.* (2013) ao detectarem uma variação sazonal de riqueza dentro dos tipos de vegetação para a comunidade gasteroide através da temperatura e umidade de cada sitio, também afirmam que determinadas condições de umidade e temperatura, aliadas a disponibilidade de recursos heterogêneos nos ecossistemas áridos, podem vir a controlar a dinâmica dos fungos nestes sistemas.

Segundo Gomez-Hernandes & Williams-Linera (2011), as condições climáticas e microclimáticas mudam com a elevação. Entretanto, as mudanças na diversidade de macromicetos têm sido escassamente estudadas, e estudos recentes têm concluído que a precipitação ou ambos, umidade e temperatura, são os principais fatores relacionados ao desenvolvimento de macromicetes, em riqueza, abundância e diversidade. Sendo assim, talvez por esse motivo estudos para detectar a composição e dinâmica da comunidade fúngica de uma determinada área possam levar anos, pois as condições climáticas variam significativamente de um mês para outro, de um ano para outro e assim sucessivamente.

De uma maneira geral, ao compilarmos dados da comunidade gasteroide, passamos a entender um pouco da dinâmica do grupo nos diferentes ambientes onde ocorrem, além de pensar no aprimoramento de estratégias de coleta de dados para estudos futuros, onde possamos começar a estabelecer os grupos ou espécies com potenciais características indicadoras, ameaçadas, ou endêmicas assim como caracterizar as comunidades fúngicas para os diferentes ecossistemas e auxiliar na avaliação do atual estágio de conservação. De acordo com Gomez-Hernandes & Williams-Linera (2011), atualmente há uma crescente conscientização da diversidade de macromicetes, padrões de distribuição e sua influência no desempenho de muitos outros organismos. Concordando com Lodge (1997), a compreensão dos fatores causais e correlativos relacionados à diversidade fúngica podem ser úteis para determinar quais áreas ameaçadas são susceptíveis de suportar uma alta diversidade ou um único grupo de espécies de fungos, e por isso de maior valor na conservação. Por exemplo, as zonas temperadas, onde vários estudos têm encontrado que a abundância de macrofungos e a diversidade estão diretamente relacionadas a espécies de plantas presentes e aos microambientes associados. Entretanto, para áreas de florestas úmidas existem poucos estudos ecológicos relacionados à diversidade de fungos e sua distribuição em relação à

diversidade de plantas, heterogeneidade de habitat ou microambientes. Neste sentido, ainda são incertos os padrões de distribuição de macromicetes em relação a florestas e composição de espécies de plantas ao longo de um gradiente ambiental, assim como os efeitos na comunidade de macrofungos e a presença de espécies associadas (Gomez-Hernandes & Williams-Linera 2011).

5. Os Fatores edáficos são determinantes na distribuição da comunidade gasteroide?

Em grande parte dos trabalhos compilados, alguns parâmetros dos solos foram testados para posteriormente serem relacionados à distribuição e estrutura da comunidade gasteroide nos ecossistemas. Entretanto, nos estudos relacionados ao México e Argentina, não foram encontradas relações significativas para a maioria dos fatores avaliados do solo. Os autores constataram uma ampla variação entre os sítios e dentro dos sítios amostrados para diversos grupos de gasteroides, mesmo aqueles que apresentaram maior diversidade e/ou riqueza, assim como os menos diversos. Até mesmo valores de pH e matéria orgânica foram muito amplos, sendo esses considerados fatores críticos para o estabelecimento da comunidade gasteroide (Hernandez-Navarro *et al.*, 2015; Esqueda *et al.*, 2011; Esqueda *et al.*, 2003). Assim corroborando com Esqueda *et al.* (2003), que ressaltam que resultados de diversas pesquisas sobre influência de fatores edáficos e comportamento de macromicetos com ênfase em espécies micorrízicas também têm sido muito variáveis e contraditórios. No entanto, de acordo com Olsson *et al.* (2010) acidificação do solo restringe muitas espécies de fungos nas florestas, e o pH, conteúdo de cal e matéria orgânica parecem ser os melhores preditores abióticos da distribuição dos fungos.

Entretanto, algumas conclusões relatadas nos trabalhos compilados merecem ser destacadas aqui. Olsson *et al.* (2010) ao investigarem a variação e preferências de pH e cal por espécies da lista vermelha de gasteromicetos em pastagens arenosas da Suécia constataram que, embora os fungos gasteroides ocorram juntos nos mesmos sítios, muitas espécies do mesmo gênero ou não, apresentam diferentes preferências de pH. Ainda no estudo de Olsson *et al.* (2010), os autores inferem que espécies de *Disciseda* parecem preferir ambientes de terra plana e em pequena escala de perturbação causada por pisoteio de cavalos. Os autores também destacam que espécies de *Tulostoma* e *Disciseda* precisam de pelo menos 25 anos para estabelecer micélios grandes o

suficiente para formar basidiomas. Ressaltam ainda que espécies de *Disciseda* não ocorrem em locais cultivados nos últimos 50 anos, porém a ocorrência de *Disciseda* bem como de *T. brumale* na beira de estradas pode indicar tempos mais curtos de ocorrência destas espécies. Contudo, para espécies de *Geastrum* ainda não é conhecido o tempo que levam para estabelecer o micélio. Entretanto, conforme observações de Sunhede (1989) também para áreas de campo da Suécia, o micélio de *Geastrum* parece levar um longo tempo para se estabelecer.

Existem poucas indicações e estudos sobre o tempo de estabelecimento de gasteromicetos em solos arenosos e, segundo Olsson *et al.* (2010), maior conhecimento poderia ser adquirido a partir de estudos em áreas restauradas. Ainda de acordo com os autores, o que se sabe é que sistemas de cultivo regulares em curto período de tempo podem prejudicar as espécies da lista vermelha de gasteromicetos, e essas podem não serem capazes de colonizar novamente esses ambientes. Porém, a frequente ocorrência de gasteromicetes em margens de campos antigos pode indicar que esses locais foram refúgios de antigas paisagens agrícolas (Olsson *et al.*, 2010). Os autores ainda destacam que poucas das espécies de gasteromicetos testadas são especializadas em estágios iniciais dos ecossistemas de campos calcários e areia xéricos. Em vez disso, a maioria deles parece ser especializada em tipos intermediários de campos arenosos e calcários (Olsson *et al.*, 2010). Um resultado semelhante foi encontrado no estudo de Tomaszewska *et al.* (2015), onde definem cinco espécies indicadoras de ambientes classificados como xerotérmico na Polônia. Os autores consideram que estas espécies (*Tulostoma kotlabae*, *T. melanocyclum*, *T. squamosum*, *Disciseda bovista*, *Gastrosporium simplex* e *Geastrum mínimum*) sejam típicas de solos antigos não perturbados, associados principalmente a vegetação composta por *Sisymbrio-Stipetum capillatae* e *Festucetum pallentisna*.

Entretanto, quando analisamos as conclusões dos estudos mexicanos podemos dizer que, de uma maneira geral, apesar da ampla variação de valores encontrada para os fatores testados, a comunidade gasteroide ocorreu em áreas onde não houve excesso de sais solúveis, onde não existia problemas com a concentração de sódio, e tão pouco concentração crítica de CaCO₃. Ocorrendo em solos classificados como de textura moderadamente grossa a grossa, com altas porcentagens de areia e moderada a baixas porcentagens de argila (Esqueda-Valle *et al.*, 2000; Esqueda *et al.*, 2003; Esqueda *et al.*, 2011; Esqueda *et al.*, 2012; Piña-Páez *et al.*, 2013). No entanto, Esqueda *et al.* (2003) alerta que como consequência destas características, o solo tende a apresentar

uma deficiência em nutrientes, podendo alcançar maiores temperaturas e menor retenção de umidade.

Segundo Piña-Páez *et al.* (2013), espécies de *Tulostoma* são frequentes e abundantes em solos classificados como deficientes em nutrientes. No estudo, os autores destacam que os menores valores de matéria orgânica (2.1%) foram registrados nas áreas Mezquital Scrub, também designada a área com maior riqueza no estudo, onde o gênero que apresentou o maior número de espécies foi *Tulostoma*. Estes resultados corroboram com os de Hernandez-Navarro *et al.* (2013), que afirmam em seu estudo que *Tulostoma* frequentemente é coletada em solos limpos, e parecem estar bem adaptadas a áreas de solos pobres em nutrientes com alto conteúdo de areia. No entanto, os autores destacam diferenças na distribuição para algumas espécies de *Tulostoma* no México, onde espécies comuns e com ampla distribuição como *T. nanum*, *T. xerophilum*, *T. chudaei*, ocorrem de forma mais abundante em áreas com porcentagens de areia mais altas, enquanto que espécies menos frequentes do gênero ocorreram em zonas com quantidades de argila mais altas.

Por fim, pensamos que ainda não seja possível designar um padrão oficial e geral para a comunidade gasteroide, considerando que são necessários mais estudos com o grupo para outros ecossistemas e regiões. Visto que, até o momento, os trabalhos relacionados ao grupo são na sua grande maioria para áreas de características desérticas, semidesérticas e campos arenosos. Porém, com base nos estudos compilados e seus resultados, acreditamos que seja interessante começar a pensar em quais espécies ou grupos de gasteroides, e até mesmo de outros macrofungos, poderiam estar respondendo as alterações nos ecossistemas brasileiros tanto em áreas conservadas como não conservadas.

6. Implicações para conservação e estudos futuros

Em comparação com as plantas vasculares e com outros grupos de animais, a conservação de fungos tem recebido interesse limitado dos pesquisadores. Em termos mundiais, existem poucas reservas naturais declaradas que incluam a conservação da biodiversidade fúngica como tema de estudo, e o número de publicações que tratam do assunto é comparativamente baixo, porém vem aumentando (Heilmann-Clausen & Vesterholt, 2008). Entretanto, na Europa foi criado um Conselho Europeu para conservação de fungos em 1985. Em 2001, o Conselho sugeriu uma lista de 33

macromicetos a incluir nos anexos a Convenção de Bern, que trata da convenção sobre a vida Selvagem e os habitats naturais na Europa (ICNF, 2017). Como uma concessão, a Comissão Europeia publicou um relatório com informações detalhadas de todas as 33 espécies, alegando que estas merecem atenção das agências de conservação. Ao nível nacional, foram lançadas iniciativas oficiais para proteger fungos específicos em alguns países (Heilmann-Clausen & Vesterholt, 2008). Contudo, sabemos que a conservação da biodiversidade é uma tarefa complexa. É amplamente aceito que meios para reduzir a complexidade são necessários se quisermos tornar a biologia da conservação praticável. Isto se faz relevante em um grupo megadiverso como os fungos, onde a estimativa de espécies, globais é altíssima (Hawksworth, 2001).

No entanto, as comunidades fúngicas são mais difíceis de investigar em termos de avaliação para conservação, quando comparada ao grupo de plantas e animais. Em macrofungos, a ausência de um basidioma de uma determinada espécie não significa que ela não ocorra naquele local. Pois a formação de basidiomas é altamente variável em intensidade e tempo entre os anos, e podemos levar décadas para registrar todas as espécies ocorrentes em um determinado local (Heilmann-Clausen & Vesterholt, 2008). Talvez por isso os fungos sejam raramente incluídos nos programas de monitoramento. Como consequência, são muito poucos os dados que documentam a diminuição ou o aumento de uma população, assim como os declínios súbitos que são difíceis de detectar (Heilmann-Clausen & Vesterholt, 2008).

Os estudos referentes à ecologia de basidiomycetes em áreas de campo na Europa têm sido em grande parte também impulsionados pela preocupação com a conservação. Os pesquisadores europeus consideram a importância do papel desempenhado pelos fungos basidiomicetos, entre outros grupos, no ciclo de nutrientes dos sistemas campestres, cujo conhecimento e compreensão da dinâmica do sequestro de carbono são fundamentais no contexto das mudanças climáticas globais (Griffith & Roderick, 2008). Estes mesmos autores ao avaliarem a diversidade de basidiomicetes em diferentes tipos de habitats na Europa, registraram que cerca de 20% das 620 espécies encontradas estavam presentes em áreas de campo, em comparação com as áreas de florestas decíduais, contudo 38 espécies

foram exclusivas dos campos europeus (ex: *Hygrocybe* spp., *Lycoperdon* spp., *Panaeolus* spp.).

Além da Europa, em regiões da América do Norte e Austrália, os estudos ecológicos ao nível quantitativo também têm sido utilizados para comparar comunidades de fungos em diferentes áreas, muitas vezes registrando espécies raras ou em perigo de extinção (Arnold, 2007). No entanto, para a realização de estudos mais aprofundados, primeiramente é necessário identificar quais os principais fatores e como eles estão relacionados com a composição das espécies de fungos nos ambientes amostrados, e de que maneira podem influenciar na presença ou ausência de determinados táxons (Esqueda-Valle *et al.*, 2000). Além dos inúmeros novos táxons que podem ser encontrados durante esses estudos, informações sobre as diferenças sazonais e ocorrência de espécies, fatores relacionados à abundância, diversidade de fungos nos diferentes ambientes estudados, assim como a estrutura da comunidade e possíveis plantas hospedeiras, podem ser analisados (Claridge *et al.*, 2000).

Na América do Sul esses estudos estão começando e são escassos, sendo as principais referências trabalhos ecológicos relacionados a grupos como micorrizas, fungos poliporoides, raros com cogumelos *sensu stricto* e fungos gasteroides. Estes trabalhos estão distribuídos principalmente em países como Argentina e Brasil. Na Argentina, temos os trabalhos de Urcelay & Robledo (2004, 2009), Nohura *et al.* (2008), Nouhra *et al.* (2012), Nouhra *et al.* (2013), Cafott - dados não publicados. No entanto, devemos ressaltar que para o Brasil estudos sobre ecologia de macrofungos ainda são pouquíssimos, com destaque para Gibertoni *et al.* (2007), Braga-Neto *et al.* (2008), Karstedt & Stürmer (2008), Dreschsler-Santos *et al.* (2010), Trieveiler-Pereira *et al.* (2013), Borba-Silva *et al.* (2015), Gibertoni *et al.* (2015).

Sabendo que o Brasil é conhecido como o país com maior biodiversidade do mundo, abrigando cerca de 20% das espécies do nosso planeta, distribuídas nos seis biomas presente no país: Amazônia, Cerrado, Pantanal, Caatinga, Mata Atlântica e Pampa (Overbek *et al.*, 2015). Ainda considerando que muitos dos ecossistemas que compõem estes biomas estão altamente ameaçados pela expansiva e impactante ação antrópica. Reforçamos a ideia da importância de aprofundar e ampliar os estudos de incentivo a conservação, incluindo a maior quantidade de organismos possíveis

nesses estudos como, por exemplo, os macrofungos, ainda bastante negligenciados em estudos de conservação no país. Para isso, utilizando novas ferramentas além dos estudos de diversidade taxonômica, começando pelo conhecimento da estrutura das comunidades fúngicas em cada ecossistema, e investigando aspectos que podem auxiliar no entendimento dos padrões de distribuição da micota brasileira. Dessa maneira, aprimorando nossas estratégias para estudos de conservação com macrofungos, aliados a preservação dos principais ecossistemas brasileiros. Principalmente aqueles classificados como áreas prioritárias para conservação, como é o caso de remanescentes do Bioma Pampa e Mata Atlântica *latus sensu* na Região Sul e ao longo de fragmentos do Cerrado brasileiro localizado no Nordeste e Sudeste do Brasil, assim como a Amazônia ao norte, estes são apenas alguns exemplos de áreas que necessitam urgentemente ser acolhidas com mais estudos direcionados a preservação.

7. Conclusões

Através deste trabalho esperamos ter alertado sobre a importância dos macrofungos – gasteromicetos - nos ecossistemas, e da mesma forma contribuído no incentivo à inclusão da micologia nos estudos de conservação dos ecossistemas brasileiros. Assim, fazemos um convite aos especialistas em gasteromicetos e outros grupos, a ampliarmos nossa abordagem de estudo através da perspectiva dos processos ecológicos dos macrofungos nos ecossistemas brasileiros. De acordo com Vogel *et al.* (2017), as listagens de espécies que compõem um ecossistema, são importantes documentos legais que orientam as decisões no contexto da conservação, porém podem não ser o suficiente. Neste sentido, pensamos que seja interessante e urgente, micólogos agregarem aos estudos de taxonomia questões de cunho ecológico em seus trabalhos. Visto que, a matéria orgânica morta é de suma importância como fonte de energia para grande parte dos ecossistemas florestais. E os fungos são um dos principais condutores na rede alimentar de decompositores, como degradadores de celulose e lignina (Stenlid *et al.*, 2008).

Ainda destacamos que a identificação de espécies ameaçadas, indicadoras e os fatores que ameaçam essas espécies são importantes para adoção de estratégias de conservação mais adequadas (Vogel *et al.*, 2017). Além disso, com base no estudo de Vogel *et al.* (2017), nós também acreditamos que ao definir e inserir dados dessas espécies ou de grupos de macrofungos em listas vermelhas regionais, nacionais ou locais, dá-se um passo importante para auxiliar na identificação das ameaças que assombram os mais diversos ecossistemas brasileiros. Entretanto, Vogel *et al.* (2017) alertam que ações para conservar paisagens são importantes, no entanto, conhecer e proteger as espécies ao invés do habitat parece ter um impacto maior sobre a população e órgãos públicos.

Neste sentido, para entendemos melhor a urgência desses estudos, podemos mencionar como exemplo os remanescentes da Mata Atlântica brasileira, onde estudos apontam que as florestas atlânticas continuam a ser desmatadas a taxas altíssimas, cerca de 20.000 ha por ano (Bergamin *et al.*, 2017). Sendo assim, é relevante e urgente o maior número de estudos sobre os organismos que atuam nessas áreas, assim como possibilidades e estratégias de recuperação e conservação.

Agradecimentos

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro e bolsa de estudos concedida. Assim como ao mestrando, Gilvan Silva de Andrade, do Programa de Pós- Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela confecção dos mapas de distribuição.

Referências

- Aguilar-Trigueros, C.A., Hempel, S., Powell, J.R., Anderson, I.C., Antonovics, J., Bergmann, J., Cavagnaro, T.R., Chen, B., Hart, M.M., Klironomos, J., Petermann, J.S., Verbruggen, E., Veresoglou, S.D., Rillig, M.. 2015. Branching out: Towards a trait-based understanding of fungal ecology. *Fungal Biol Rev* 29, 34-41.
- Alves, C.R., Cortez, V.G. 2014. Gasteroid *Agaricomycetidae* (Basidiomycota) from Parque Estadual São Camilo, Paraná, Brazil. *Rev Bras de Biocien* 12 (1), 27-41.
- Alves, C.R., Cortez, V.G. 2016. Gasteroid *Phallomycetidae* (Basidiomycota) from the Parque Estadual São Camilo, Paraná, Brazil. *Iheringia, Sér. Bot.* 71 (1), 27-42.
- Arnold, E.J.M. 2007 Biogeography and Conservation.. In: Environmental and Microbial Relationships – The Mycota IV. 2nd Edition. Kubicek, C. P.; Druzhnina, pp. 338.
- Baseia, I.G., Milanez, A.I. 2001. *Cyathus* (Gasteromycetes) in areas of the Brazilian Cerrado region, São Paulo State. *Mycotaxon* 80, 493-502.
- Baseia, I.G., Galvão, T.C. O. 2002. Some interesting gasteromycetes (Basidiomycota) in dry areas from northeastern Brazil. *Acta Bot. Bras.* 16 (1), 1-8.
- Baseia, I.G., Cavalcanti, M.A., Milanez, A.I. 2003. Additions to our Knowledge of the genus *Geastrum* (Phallales: Geastraceae) in Brazil. *Mycotaxon* 85, 409-416.
- Bergamin, R.S., Bastazini, V.A., Véliz-Martin, E., Debastiani, V., Zanini, K.L., Loyola, R., Müller, S.C. 2017. Linking beta diversity patterns to protected areas: lessons from the Brazilian Atlantic Rainforest. *Biodivers Conserv* DOI 10.1007/s10531-017-1315-y.
- Borba-Silva, M., Drechsler-Santos, E.R., Robledo, G.L. 2015. Community structure and functional diversity of polypores (Basidiomycota) in the Atlantic Forest of Santa Catarina State, Brazil. *Biotemas* 28(1), 1-11.
- Boddy, L., Frankland, J., West, P.V. 2008. Ecology of Saprotrophic Basidiomycetes. 1nd Edition Elsevier, London. pp 372.
- Braga-Neto, R., Luizão, R.C.C., Magnusson, W.E., Zuquim, G., Castilho, C.V. 2008. Leaf litter fungi in a Central Amazonian forest: the influence of rainfall, soil and topography on the distribution of fruiting bodies. *Biodivers Conserv* 17, 2701–2712.

- Caffot HLM. 2014. **Diversidad y ecología de Agaricomycetes (Phallomycetidae y Agaricomycetidae, Basidiomycota) asociados a relictos de Bosque Chaqueño en Argentina.** 254. Córdoba, Argentina: Universidade Nacional de Córdoba. Tese (Doutorado).
- Crabtree, C.D., Keller, H.W., Ely, J.S. 2010. Macrofungi associate with vegetation and soils at Ha Ha Tonka State Park, Missouri. *Mycologia* 102 (6), 1229–1239.
- Claridge, A.W., Cork, J.S., Trappe, J. M. 2000. Diversity and habitat relationships of hypogeous fungi. I. Study design, sampling techniques and general survey results. *Biodivers Conserv* 9, 151–173.
- Cortez, V.G. 2009a. Estudos sobre Fungos Gasteróides (Basidiomycota) no Rio Grande do Sul. 286 f. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado).
- Cortez, V.G., Baseia, I.G., Silveira, R.M.B. 2009b. Gasteroid mycobiota of Rio Grande do Sul, Brazil: *Tulostomataceae*. *Mycotaxon* 108, 365-384.
- Cortez, V.G., Baseia, I.G., Silveira, R.M. 2013a. Gasteroid mycobiota of Rio Grande do Sul: *Lycoperdon* and *Vascellum*. *Mycosphere* 4, 745-758.
- Cortez VG, Baseia IG, Silveira RMB. 2013b. Gasteroid mycobiota of Rio Grande do Sul, Brazil: Nidulariaceae. *Acta Biol Parana* 43,1-21.
- Dreschsler-Santos, R., Santos, P.J.P., Gibertoni, T.B., Cavalcanti, M.A.Q. 2010. Ecological aspects of *Hymenochaetaceae* in área of Caatinga (semi-arid) in Northeast Brazil. *Fungal Divers.* 42, 71–78.
- Esqueda, M., Herrera, T., Pérez-Silva, E., Sánchez, A. 2003. Distribution of *Geastrum* species from priority regions for conservation of biodiversity of Sonora, México. *Mycotaxon* 88, 445-456.
- Esqueda M, Coronado M, Sánchez A, Pérez-Silva E, Herrera T. 2006. Macromycetes of Pinacate and Great Altar Desert biosphere reserve, Sonora, México. *Mycotaxon* 95, 81-90.
- Esqueda, M., Sánchez, A., Rivera, M., Coronado, M., Lizárraga, M., Valenzuela, R. 2009. Primeros registros de hongos gasteroides en La Reserva Florestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos-Bavispe, Sonora, México. *Rev Mex Micol* 30, 19-29.
- Esqueda, M., Sánchez, A., Coronado, M.L., Gutiérrez, A., Lizárraga, M., Valenzuela, R. 2011. Nuevos registros de hongos gasteroides em La Reserva de Biosfera Sierra de Álamos-Río Cuchujaquí. *Rev Mex Micol* 34, 43-51.
- Esqueda, M., Gutiérrez, A., Coronado, M.L., Lizárraga, M., Raymundo, T., Valenzuela, R. 2012. Distribución de algunos hongos gasteroides (Agaricomycetes) em la planicie central del Desierto Sonorense. *Rev Mex Micol* 36, 1-8.
- Esqueda-Valle, M., Perez-Silva, E., Herrera, T., Coronado-Andrade, M., Estrada-Torres, A. 2000. Composición de gasteromicetos e un gradiente de vegetación de Sonora, México. *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Auton. Mex.* 71 (2), 39-62.
- Gibertoni, T.B., Santos, P.J.P., Cavalcanti, M.A.Q. 2007. Ecological aspects of *Aphilophorales* in the Atlantic Rain Forest in Northeast Brazil. *Fungal Divers.* 25, 49-67.
- Gibertoni, T. B., Nogueira-Melo, G.S., De Lira, C.R.S., Baltazar, J.M., Santos, P.J.P. 2015. Distribution of poroid fungi (Basidiomycota) in the Atlantic Rain Forest in Northeast Brazil: implications of conservation. *Biodivers Conserv* 24, 2227–2237.

- Gomez-Hernandez, M., Williams-Linera, G. 2011. Diversity of macromycetes determined by tree species, vegetation structure, and microenvironment in tropical cloud forests in Veracruz, Mexico. *Botany* 89, 203–216.
- Griffith, G.W., Roderick, K. 2008. Saprotrophic basidiomycetes in grasslands: distribution and function. In: *Ecology of Saprotrophic Basidiomycetes*. cap. 15, Ed. Elsevier, London. p 277–299.
- Hawksworth, D.L. 2001. The magnitude of fungal diversity: the 1, 5 million species estimate revisited. *Mycol. Res.* 105, 1422-1432.
- Heilmann-Clausen, J., Boddy, L. 2008. Distribution patterns of wood-decay basidiomycetes at the landscape to global. In: *Ecology of Saprotrophic Basidiomycetes*. cap. 14, Ed. Elsevier, London. p 263–275.
- Heilmann-Clausen, J., Vesterholt, J. 2008. Conservation: selection criteria and approaches. In: *Ecology of Saprotrophic Basidiomycetes*. cap. 17, Ed. Elsevier, London. p 325–347.
- Hernández-Navarro, O.E., Esqueda, M., Gutiérrez, A., Moreno, G. 2013. Espécies de *Disciseda* (Agaricales: Agaricaceae) em Sonora, México. *Revi Mex de Biodivers* 84, 1-10.
- Hernández-Navarro, E., Gutiérrez, A., Barredo-Pool, F., Esqueda, M. 2015. Especies de *Tulostoma* (Basidiomycetes, Agaricomycetes) en un matorral espinoso de Sonora, México. *Rev Mex Micol* 42, 65-72.
- Hibbet DS. 2006. A phylogenetic overview of the Agaricomycotina. *Maycologia* 98, 917-925.
- Hosaka, K., Bates, S.T., Beever, R.E., Castellano, M.E., Colgan, W., Domínguez, L., Nouhra, E.R., Geml, J., Gianchini, A.J., Kenny, S.R., Simpson, N.B., Spatafora, J.W., Trappe, J.M. 2006. Molecular phylogenetics of the gomphoid-phalloid fungi with an establishment of yhr new subclass Phallomycetidae and two new orders. *Mycologia* 98, 949-959.
- ICNF. 2017. Instituto de Conservação da Natureza: Convenção de Berna. Disponível em: <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ei/berna> . Acesso em: 24 de janeiro de 2017.
- Karstedt, F., Stürmer, S.L. 2008. Agaricales em Florestas Ombrófila Densa e plantações de *Pinus* no Estado de Santa Catarina, Brasil. *Acta Bot. Bras.* 22(4), 1036-1043.
- Kirk, P.M., Cannon, P.F., Minter DW, Stalpers JA. 2008. *Dictionary of the Fungi*. 10th ed. Wallingford: CABI Publ. pp. 771.
- Lodge, D.J. 1997. Factors related to diversity of decomposer fungi in tropical forest. *Biodivers Conserv* 6, 681-688.
- Meijer, A.A.R. 2006. Preliminary list of the macromycetes from the Brazilian state of Paraná. *Bol. Mus. Bot. Munic.* 68, 1-55.
- Meijer, A.A.R. 2010. Preliminary list of the macromycetes from the Brazilian state of Paraná: corrections and updating. *Bol. Mus. Bot. Munic* 72, 1-9.
- Miller, O.K., Miller, H.H. 1988. *Gasteromycetes: morphological and developmental features*. Eureka: Mad River, pp.156.
- Munguia, P., Guzmán, G., Ramírez-Guillén, F. 2006. Seasonal community structure of macromycetes in Veracruz, Mexico. *Ecography* 29, 57-65.

- Nouhra, E.R., Dominguez, L.S., Graciela, G.D., Longo, M.S., Trappe, J.M., Claridge, A.W. 2008. Occurrence of ectomycorrhiza, hypogeous fungi in plantation of exotic tree species in central Argentina. *Mycologia* 100 (5), 752–759.
- Nouhra, E.R., Urcelay, C., Longo, M.S., Fontela, S. 2012. Differential hypogeous sporocarp production from *Nothofagus dombeyi* and *N. pumilio* forests in southern Argentina. *Mycologia* 104 (1), 45-52.
- Nouhra, E.R., Urcelay, C., Longo, M.S., Tedersoo, L. 2013. Ectomycorrhizal fungal communities associated to *Nothofagus* species in Northern Patagonia. *Mycorrhiza* 23, 487–496.
- Olsson, P.A., Schnoor, T.K., Hanson, S-A. 2010. pH preferences of red-listed gasteromycetes in calcareous sandy grasslands: Implications for conservation and restoration. *Fungal Ecol.* 3, 357-365.
- Overbeck, G., Podgaiski, L.R., Müller, S.C. 2015. Biodiversidade dos Campos. In: Os Campos do Sul, cap. 4, Ed. Valério Patta Pillar e Omara Lange – UFRGS, Porto Alegre, p. 43-50.
- Piña-Páez, C., Esqueda, M., Gutierrez, A., Gonzáles-Ríos, H. 2013. Diversity of gasteroid fungi in the Sierra de Mazatán, Sonora, México. *Southwest. Nat.* 58 (3), 351-356.
- Stenlid, J. 2008. Population Biology Forest Decomposer Basidiomycetes. In: Ecology of Saprotrophic Basidiomycetes. cap. 6, Ed. Elsevier, London. p 105–122.
- Stenlid, J., Penttilä R., Dahlberg A. 2008. Wood-decay basidiomycetes in boreal forests: distribution and community development. In: Ecology of Saprotrophic Basidiomycetes. cap. 13, Ed. Elsevier, London. p 239–262.
- Sunhede, S. 1989. Geastraceae (Basidiomycotina): morphology, ecology and systematic, with special emphasis on the North European species. *Synopsis Fungorum* 1. Oslo: Fungiflora.
- Tedersoo, L., Bahram, M., Põlme, S., Kõljag, U., Yorou, N.S, Wijesundera, R., Ruiz, L.V., Vasco-Palacios, A., Thu, P.Q., Suija, A., Simith, M.E., Sharp, C., Saluveer, E., Saita, A., Rosas, M., Riit, T., Ratkowsky D., Pritsh K., Põldmaa, K., Piepenbring, M., Phosri, C., Peterson, M., Parts, K., Pärtel, Otsing, E., Nouhra, E., Njouonkon, A. L., Nilsson, R. H., Morgado, L.N., Mayor, J., May, T.W., Majuakim, L., Lodge, D.J., Lee, S.S., Larsson, K.H., Kohout, P., Hosaka, K., Hiiesalu, I., Henkel, T.W., Harend, H., Guo, L., Greslebin, A., Grelet, G., Geml, J., Gates, G., Dunstan, W., Dunk, C., Drenkhan, R., Dearnaley, Kesel, A., Dang, T., Chen, X., Buegger, F., Brearley, F.Q., Bonito, G., Auslan, S., Abell, S., Abarenkov, K.. 2014. Global diversity and geography of soil fungi. *Science* 346, p.1078.
- Tomaszewska, A., Łuszczynski, J., Lechowicz, L., Chrapek, M. 2015. Selected rare and protected macrofungi (*Agaricomycetes*) as bioindicators of communities of xerothermic vegetation in the Nida Basin. *Acta Mycologica.* 50 (1), 1–12.
- Trierveiler-Pereira, L., Santos, P.J.P., Baseia, I.G. 2013. Ecological aspects of epigeous gasteromycetes (*Agaricomycetes*, Basidiomycota) in four remnants of the Brazilian Atlantic Forests. *Fungal Ecol.* 6, 471-478.
- Trierveiler-Pereira, L., Silveira, R. M. B. ; Hosaka, K. 2014. Multigene phylogeny of the Phallales (*Phallomycetidae*, *Agaricomycetes*) focusing on some previously unrepresented genera. *Mycologia* 106, 904-911.
- Urcelay, C., Robledo, G. 2004. Community structure of polypores (Basidiomycota) in Andean alder wood in Argentina: Functional group among wood-decay fungi? *Austral Ecol* 29, 471-476.

- Urcelay, C., Robledo, G. 2009. Positive relationship between wood size basidiocarp production of polypore fungi in *Alnus acuminata* forest. *Fungal Ecol.* 2, 135-139.
- Vogel, C.E., Bordignon, S.A.L., Trevisan, R., Boldrini, I.L. 2017. Implications of poor taxonomy in conservation. *J Nat Conserv* 36, 10-13.
- Zamora, J.C., Calonge, D.F., Hosaka, K., Martín, M.P. 2014. Systematics of the genus *Geastrum* (Fungi: Basidiomycota) revisited. *Taxon* 63 (3), 477-497.

Tabela 1. Relação dos trabalhos referente aos estudos ecológicos de gasteromicetos.

Referências	Objetivo	Período de estudo	Total espécies	Grupos Relevantes	País
Esqueda-Valle <i>et al.</i> , 2000	Conhecimento taxonômico e ecológico de gasteromicetos, Em um gradiente de vegetação de Sonora, México.	Três anos	77	<i>Tulostoma</i> <i>Geastrum</i> <i>Lycoperdon</i>	México
Esqueda <i>et al.</i> , 2003	Conhecimento taxonômico e ecológico de <i>Geastrum</i> para regiões prioritárias para conservação.	Três anos	17	<i>Geastrum</i>	México
Esqueda <i>et al.</i> , 2006	Avaliar a distribuição de gasteromicetos em quatro tipos de vegetação.	Um ano	27	<i>Geastrum</i> , <i>Lycoperdum</i> <i>Tulostoma</i>	México
Esqueda <i>et al.</i> , 2009	Avaliar distribuição sazonal de gasteromicetos em sete tipos de vegetação.	Um ano	42	<i>Geastrum</i>	México
Olsson <i>et al.</i> , 2010	Avaliar a preferência de solos de espécies de gasteromicetes da lista vermelha da Suécia.	Um ano	12	<i>Disciseda</i> <i>Geastrum</i> <i>Tulostoma</i>	Suécia
Esqueda <i>et al.</i> , 2011	Taxonomia e ecologia de gasteromicetos.	Um ano	22	<i>Cyathus</i> <i>Disciseda</i> <i>Geastrum</i>	México
Esqueda <i>et al.</i> , 2012	Avaliar a distribuição de fungos gasteroides na planície central de Sonora.	Um ano	32	<i>Disciseda</i> <i>Geastrum</i> <i>Tulostoma</i>	México
Piña-Páes <i>et al.</i> ,	Avaliar a diversidade			<i>Geastrum</i>	México

2013	e sazonalidade de gasteromicetos, Sierra de Mazatan.	Um ano	37	<i>Lycoperdum</i> <i>Tulostoma</i>	
Trierveiler-Pereira <i>et al.</i> , 2013	Composição e riqueza de gasteromicetos epígeos de remanescentes de Mata Atlântica.	Um ano	16	<i>Geastrum</i>	Brasil
Hernandez-Navarro <i>et al.</i> , 2015	Taxonomia e ecologia de espécies de <i>Tulostoma</i> em Matorral espinhoso.	Um ano	17	<i>Tulostoma</i>	México
Tomaszewska <i>et al.</i> , 2015	Ocorrência, produtividade e espécies indicadoras de macrofungos protegidos.	Três anos	10	<i>Disciseda</i> , <i>Geastrum</i> e <i>Tulostoma</i>	Polônia
Caffot, 2014 (dados não publicados)	Avaliar diversidade e composição de gasteromicetos em três ecossistemas do Chaco Argentino.	Dois anos	135	<i>Tulostoma</i> , <i>Geastrum</i> e <i>Disciseda</i>	Argentina

Tabela 2. Relação das características e fatores avaliados nos estudos ecológicos de gasteromicetos.

Referências	Vegetação	Estação	Parâmetros do solo	Análises Estatística aplicadas
Esqueda-Valle <i>et al.</i> , 2000	Matorral subnervo Matorral espinhoso Selva baja caducifolia Bosque de encino Bosque de encino-pino Bosque de pino Bosque de encino-enebro-pino	Outono Primavera Verão Inverno	Capacidade de intercâmbio catiônico total Fosfatos Textura Matéria orgânica total Nitratos Pedregosidade pH Salinidade	Índice de Similaridade Tripartita (IST) Cluster (UPMA) PCA
Esqueda <i>et al.</i> , 2003	Microphyllous Desert Scrub Tropical Thorn Forest Tropical Deciduous Forest Oak Forest Oak-Pine Forest Pine-Oak Forest	Outono Primavera Verão Inverno	Fosfatos Textura Matéria orgânica total Nitratos Pedregosidade pH Proporção de cascalho Salinidade	Não aplicado, apenas caracterização
Esqueda <i>et al.</i> , 2006	Microphyllous desert scrub Sandy desert Mezquital Sarcocaulle scrub	Outono Primavera Verão Inverno	Não avaliado	Não se aplica
Esqueda <i>et al.</i> , 2009	Bosque de Pino- Encino Bosque de Pino-Encino com bosque de galeira Mezquital Bosque de Encino Abierto	Outono Primavera Verão Inverno	Não avaliado	Não se aplica

	Matorral subtropical Matorral desértico micrófilo			
Olsson <i>et al.</i> 2010	Solo arenoso	Inverno	Cálcio Fósforo Magnésio pH	Modelos de GAM Distribuição de Poisson PCA
Esqueda <i>et al.</i> , 2011	Bosque de Encino Selva Baja Caducifolia Selva Baja Caducifolia y Subcaducifolia Bosque de galeria Vegetação secundária arbustiva	Outono Primavera Verão Inverno	Fosfatos Textura Matéria orgânica total Nitratos pH Salinidade Sódio	Não aplica, apenas caracterização
Esqueda <i>et al.</i> , 2012	Matorral Desértico Micrófilo Matorral Sarcocaulle Mezquital	Outono Primavera Verão Inverno	Fosfatos Textura Matéria orgânica total Nitratos pH Salinidade	Não aplica, apenas caracterização
Piña-Páez <i>et al.</i> , 2013	Bosque de Encino Matorral Subtropical Matorral Mesquite	Outono Primavera Verão Inverno	Textura Matéria orgânica total pH Salinidade	Shannon diversity indexn (H') Pielou's (J') Simpson's e Jaccard's Cluster (UPGMA)
Trievailer-Pereira <i>et al.</i> 2013	Floresta Costeira de Planíce Floresta Úmida de Montanha	Estação chuvosa e seca	Não avaliado	Similaridade (ANOSIM) Índice de Sorensen Multi-Dimensional Scaling ordination (MDS) Curva de acumulação de

				espécies
Hernández-Navarro <i>et al.</i> , 2015	Matorral espinoso	Outono Primavera Verão Inverno	Capacidade de intercâmbio catiônico total Fosfatos Textura Matéria orgânica total Nitratos Pedregosidade pH Potásio	ANOVA
Tomaszewska <i>et al.</i> , 2015	Campos xerotérmicos	Não avaliado	Não avaliado	Análise de espécies indicadoras (Indval)
Caffot, 2014 (Dados não publicados)	Chaco úmido Chaco árido Chaco Semi-árido	Outono Primavera	Carbono Nitrogênio Relación C/N Fósforo N de Nitratos Nitratos Potasio	Anova Cluster Correlação de Spearman Curva de rarefação de Coleman Estimador de riqueza Chao 2 Diversidade de Shannon- Wiener

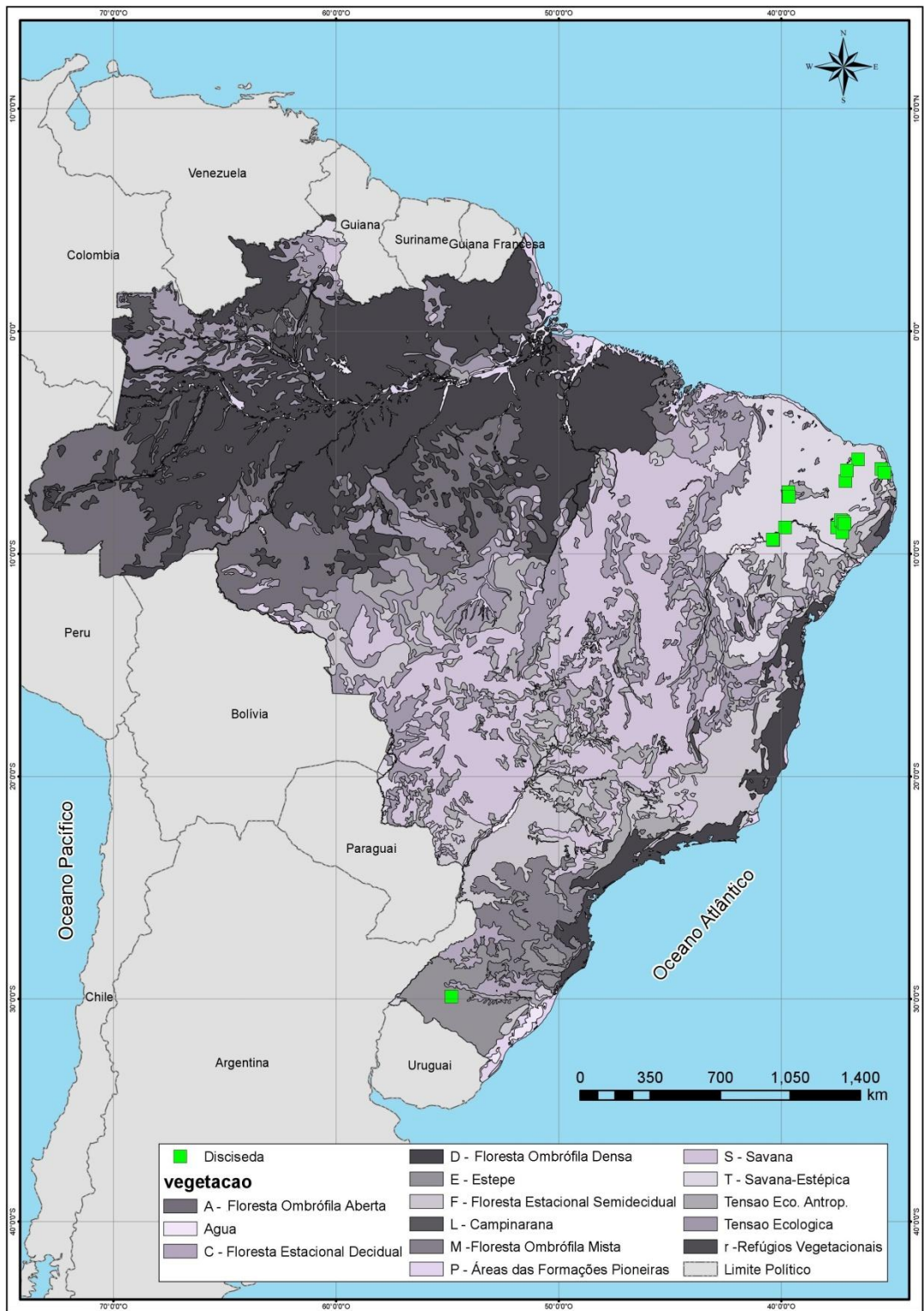


Figura1. Distribuição de *Disciseda* ao longo do Brasil. Classificação dos ecossistemas segundo o IBGE 2008.

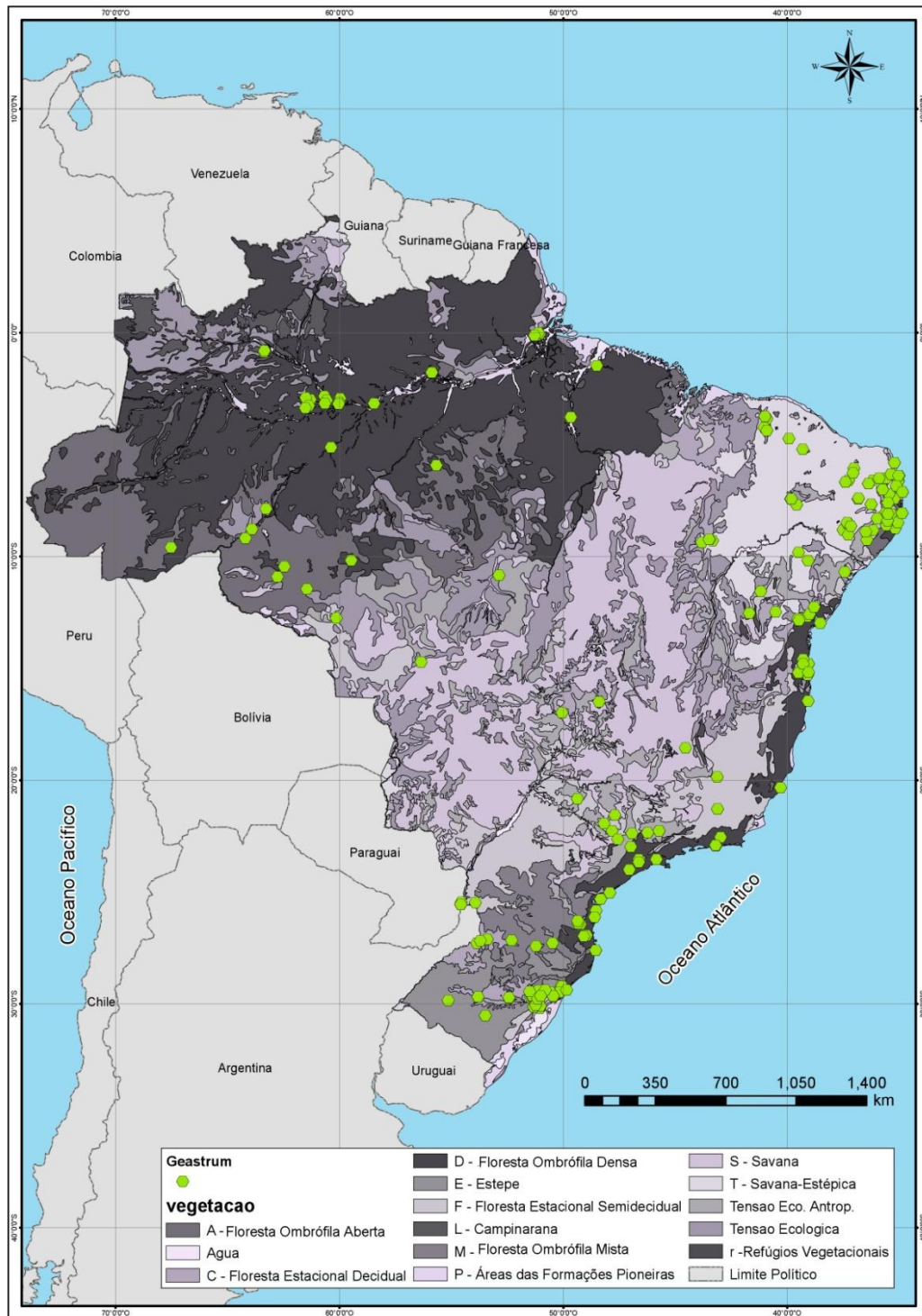


Figura 2. Distribuição de *Geastrum* ao longo do Brasil. Classificação dos ecossistemas segundo o IBGE 2008.

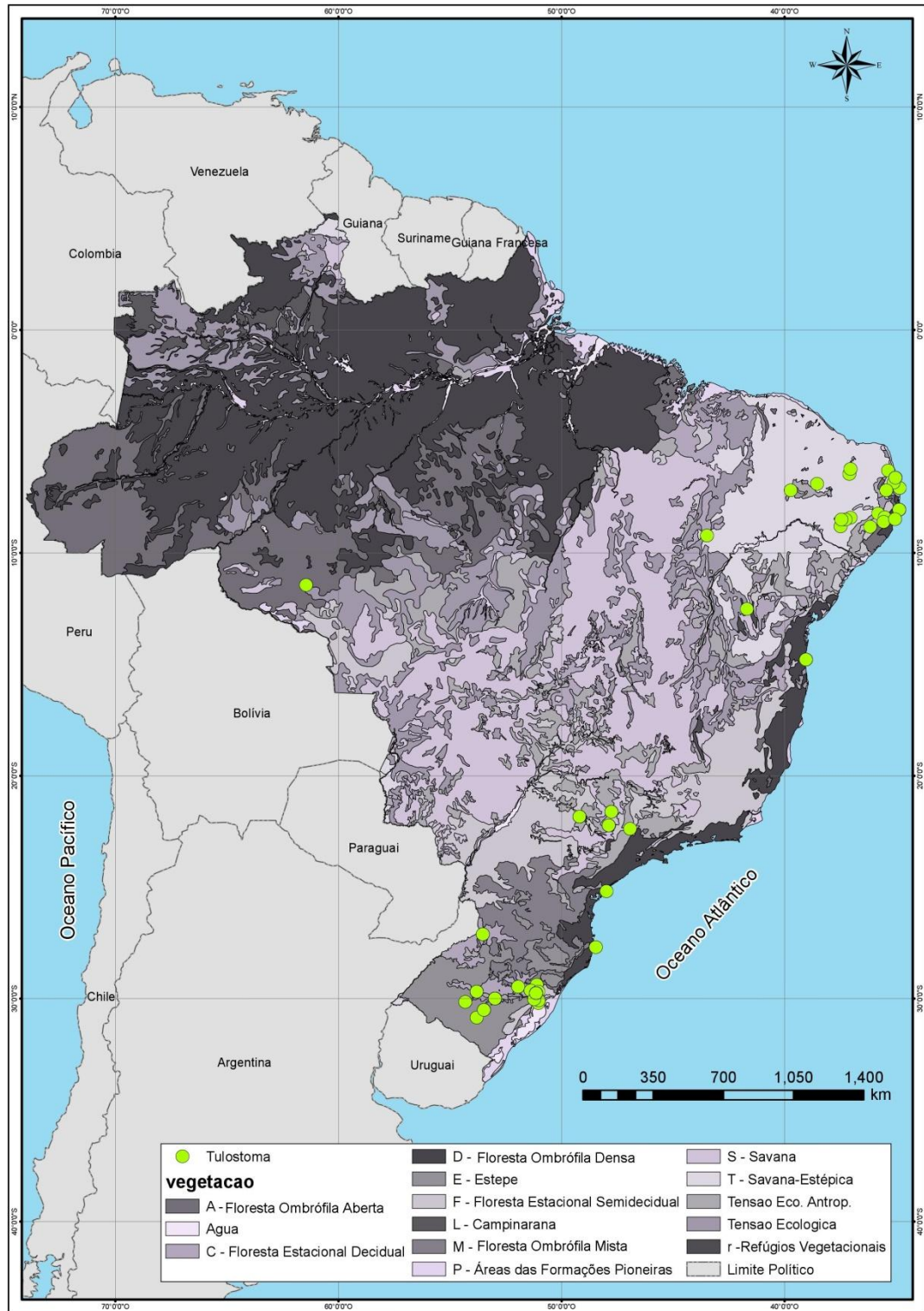


Figura 3. Distribuição de *Tulostoma* ao longo do Brasil. Classificação dos ecossistemas segundo o IBGE 2008.

7. Capítulo 3: *Morganella austromontana* sp.nov. from South Brazilian Plateau.

Manuscrito submetido à revista Mycotaxon.

***Morganella austromontana* (Agaricaceae, Basidiomycota): new species from South Brazilian Plateau**CAMILA R. ALVES^{1*}, VAGNER G. CORTEZ² & ROSA M. B. DA SILVEIRA¹¹ Programa de Pós-graduação em Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500, Agronomia CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brazil² Programa de Pós-graduação em Botânica, Departamento de Biodiversidade, Rua Pioneiro 2153, Jardim Dallas CEP 85950-000, Palotina,, PR, Brazil* CORRESPONDENCE TO: cra.micologia@gmail.com

ABSTRACT — During field exploration of the mycobiota of South Brazilian Plateau, a new species of *Morganella* was found. *Morganella austromontana* is proposed as a new species based on the ovoid-shaped basidiospores and soil habitat. A complete description, as well illustrations of the macro- and microscopic features are followed by a taxonomic discussion.

KEY WORDS — Agaricomycetidae, *Araucaria angustifolia* forest, puffballs, taxonomy

Introduction

Morganella Zeller is diagnosed by the small, gasteroid basidiomata (puffballs), which are globose, subglobose or depressed, with a double peridium comprising a granular, verrucose, velutinous or spiny exoperidium, and an endoperidium with an apical pore; basidiospores are globose or subglobose, rarely ovoid, absence of eucapillitium and presence of paracapillitium (Zeller 1948; Kreisel & Dring 1967). The genus is limited to about 20 species. From Brazil, 11 species have been reported and/or described in the last years (Cortez et al. 2007; Trierweiler-Pereira et al. 2009; Barbosa et al. 2011; Alfredo et al. 2012, 2014; Alves & Cortez 2013). These puffballs occur in diverse habitats in Brazil, from arid environments (Barbosa et al. 2011), to seasonal and ombrophilous forests (Alfredo et al. 2012; Alves & Cortez 2013), where they grows on rotting wood among litter and mosses.

During a survey of the gasteroid mycobiota in South Brazilian forests, in the Atlantic Forest biome, a new species of the genus *Morganella* was found growing in the Mixed Ombrophilous Forest, the *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Brazilian Pine) forest, typical of south Brazil. The combination of distinct morphological species leads us to propose as a new species, which is the subject of the present paper.

Materials & methods

Specimens were gathered during field trips in the natural reserves of Rio das Furnas, municipality of Alfredo Wagner (27°42'0''S and 49°20'2''W), State of Santa Catarina, and National Park of Aparados da Serra, municipality of Cambará do Sul (29° 8'2'' S and 49° 59' 40 W), State of Rio Grande do Sul. Both sites are covered by *Araucaria angustifolia* (Brazilian/Paraná Pine) forests, and are placed in the Brazilian Meridional Plateau, under altitudes of 900

to 1200 m (Veloso et al. 1991). The climate of the region is Cfb type in the Köppen's classification: mesothermic, wet, with regular rainfall along the year, and mild summer.

Morphological analysis followed standard procedures detailed by Miller & Miller (1988). Colors were determined by the color chart of Kornerup and Wanscher (1978). Measurements and photographs were taken in a Motic BA310 microscope with a digital camera Moticam 2500, through the software Motic Image Plus 2.0 Scanning electron microscopy (SEM) was performed at the Center of Electronic Microscopy of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CME/UFRGS), under a Jeol JSM-6060 SEM. All studied specimens are preserved at the Herbarium ICN (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil).

Taxonomy

Morganella austromontana C.R. Alves, Cortez & R.M. Silveira **sp. nov.**

FIGURE 1-6

MYCOBANK MB (TO BE PROVIDED)

DIAGNOSIS : Basidiomata small to medium sized, up to 20 mm diam., gregarious, terrestrial; exoperidium spiny to granulose, detaching as plates from the endoperidium, which is white to pale yellow, smooth to areolate, with an apical pore; basidiospores $4-5 \times 3-4 \mu\text{m}$, ovoid, verrucose, with a short ($<2 \mu\text{m}$) pedicel.

TYPE BRAZIL. Santa Catarina State: Alfredo Wagner, Reserva do Rio das Furnas, 07.I.2014, leg. C.R. Alves 94 (ICN 181431).

ETYMOLOGY The name refers to the type region (South Brazilian Plateau), and means: "from the mountains of south (Brazil)".

BASIDIOMES 10 mm height, 8–20 mm diam., subglobose to pyriform. EXOPERIDIUM spiny, formed of short spines (<1 mm height), numerous and densely grouped on the top of the basidioma, light brown (6D5) when fresh, falling away as plates detached from the endoperidium when mature. ENDOPERIDIUM papery, smooth to areolate, white (1A1) when fresh, then yellow grey (2B2) after dried. STERILE BASE poorly developed to present, reaching 3 mm height, yellowish grey (2B2), with scattered, white and thin rhizomorphs (<1 mm thickness). GLEBA cottony, brownish grey (2D2). SUBGLEBA present, up to 3 mm height, cellular, greyish yellow (1B3). BASIDIOSPORES $4-5 \times 3-4 \mu\text{m}$, ovoid, pale green under 5% KOH, surface verrucose under light microscope, spiny under SEM, the spines are cone-shaped, $<2 \mu\text{m}$ height. PARACAPILLITIUM, $7-10 \mu\text{m}$ diam., inflated, with numerous small pores about $1 \mu\text{m}$ diam., amorphous matter surrounding the hyphae, septa regular, sometimes, with dichotomous tips. EXOPERIDIUM hyphae $10-26 \times 8-15 \mu\text{m}$ diam., globose, subglobose or pyriform, hyaline to pale yellow, walls thin, about $1 \mu\text{m}$ thickness. MYCOSCLEREIDS $25-80 \times 7-13 \mu\text{m}$ diam., irregular in shape, hyaline, walls thick ($3 \mu\text{m}$ diam.) and smooth.

ECOLOGY & DISTRIBUTION — Basidiomata solitary or gregarious, growing on soil, among a few herbs on the trail board in the Mixed Ombrophilous Forest, with *Araucaria angustifolia* (Brazilian pine), about 480–900 m altitude, during rainy summer. Only known from Southern Brazilian Plateau (States of Rio Grande do Sul and Santa Catarina).

SPECIMENS EXAMINED **BRAZIL. Rio Grande do Sul State:** Cambará do Sul, Parque Nacional dos Aparados da Serra, 13.III.2014, leg. A. Gerlach 1486 (ICN).

ADDITIONAL SPECIMENS EXAMINED **BRAZIL. Rio Grande do Sul State:** São Francisco de Paula, Veraneio Hampel, 08.I.2006, leg. V.G. Cortez 013/06 (ICN 154553); FLONA São Francisco de Paula, 21.IV.2007, leg. V.G. Cortez 048/07 (ICN 154554); Itaara, Parque Pinhal, 04.V.2007, V.G. Cortez 075/07 (ICN 154555); Santa Maria, FEPAGRO, 15.V.2007, V.G. Cortez s.n (ICN 154556); Campus UFSM, 04.VI.2007, Coelho, G. 485-7 (ICN 154557).

COMMENTS — *Morganella austromontana* is described as a new taxon in *Morganella* due to the combination of the ovoid spores with a verrucose ornamentation under LM and shortly spiny under SEM, densely spiny exoperidium, composed of short and white spines in younger basidiomata, then pale brownish and falling as plates, in maturity. Another important feature of the new taxon is the diameter of paracapillitium hyphae, which reach up to 10 µm diam., while in other species it rarely is wider than 5–6 µm. As noted also in *Morganella sulcatostoma* (Alves & Cortez 2013), *M. austromontana* present thick-walled mycosclereids in the exoperidium. The combination of these features (especially basidiospores and exoperidium) supports the recognition of the present puffball as a new member of *Morganella*.

The new species can be nested among members of *Morganella* Sect. *Subincarnata* (group *subincarnatae*) in the sense of Ponce de Leon (1971), which cover species with deciduous exoperidium and reticulate-areolate endoperidium. Among other members of Sect. *Subincarnata*, *M. costaricensis* Morales is the most similar species to *M. austromontana*, due to the exoperidium with deciduous spines, areolate endoperidium, but the basidiospores are globose to subglobose, and smooth (Morales et al. 1974; Suárez & Wright 1996).

The type species of *Morganella* Sect. *Subincarnata*, *Morganella subincarnata* (Peck.) Kreisel & Dring, is related to *M. austromontana* since both species exhibits similar pattern of exo- and endoperidium, but *M. subincarnata* differs on having a darker exoperidium (olivaceous brown) and its basidiospores are exclusively globose and verrucose. they also differs on its habitat preferences while *M. subincarnata* grows on coniferous forests (Ponce de Leon 1971; Bowerman 1961), *M. austromontana* in *A. angustifolia*; .

Another noteworthy feature of this species is the fact they were collected on soil, instead of rotting wood, the usual substrate for most *Morganella* species. This is not exclusive for *M. austromontana*, since other species, as the recently described *M. arenicola*, occurs on sandy soil (Alfredo et al. 2014).

It will be necessary further fieldwork to determine if the proposed species is, in fact, restricted to the southern Brazilian highlands and, in special, to *A. angustifolia* forests. However, based on the current available data and ongoing survey of the gasteroid fungi of Southern Brazil, *M. austromontana* is most probably strongly associated to these environments.

Acknowledgments

We thank the financial support of Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) and Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Instituto Chico Mendes (ICMBio) for allowing fieldwork, and Alice C. L. Gerlach for specimens collection.

Literature cited

- Alfredo DS, Leite AG, Braga-Neto R, Baseia IG. 2012. Two new *Morganella* species from the Brazilian Amazon rainforest. *Mycosphere* 3: 66–71. <http://dx.doi.org/10.5943/mycosphere/3/1/8>
- Alfredo DS, Accioly T, Baseia IG. 2014. *Morganella arenicola*, a new species record from North and Northeast Brazil. *Turk. J. Bot.* 38: 595–599. <http://dx.doi.org/10.3906/bot-1307-68>
- Alves CR, Cortez VG. 2013. *Morganella sulcatostoma* sp. nov. (*Agaricales*, *Basidiomycota*) from Paraná State, Brazil. *Nova Hedwigia* 96: 409–417. <http://dx.doi.org/10.1127/0029-5035/2013/0078>
- Barbosa MMB, Silva MA, Cruz RHSF, Calonge FD, Baseia IG. 2011. First report of *Morganella compacta* (*Agaricales*, *Lycoperdaceae*) from South America. *Mycotaxon* 116: 381–386. <http://dx.doi.org/10.5248/116.381>
- Bowerman CA. 1961. *Lycoperdon* in eastern Canada with special reference to the Ottawa district. *Can J Bot* 39: 353–383. <http://dx.doi.org/10.1139/b61-029>
- Cortez VG, Calonge FD, Baseia IG. 2007. Rick's species revision 2: *Lycoperdon benjaminii* recombined in *Morganella*. *Mycotaxon* 102: 425–429.
- Köeppen WP. 1948. *Climatología, con un estudio de los climas de la Tierra*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Kornerup A, Wanscher JH. 1978. *Methuen handbook of colour*. 3rd ed. Eyre Methuen, London.
- Kreisel H, Dring DM. 1967. An emendation of the genus *Morganella* Zeller (*Lycoperdaceae*). *Feddes Repert.* 74: 109–122. <http://dx.doi.org/10.1002/fedr.19670740105>
- Miller OK, Miller HH. (1988) *Gasteromycetes: morphological and development features with keys to the orders, families and genera*. Mad River, Eureka.
- Morales IM, Nassar M, Saénz JA. 1974. *Lycoperdaceae* of Costa Rica I. The genus *Morganella*. *Rev. Biol. Trop.* 21: 221–227.
- Ponce de Leon P. 1971. Revision of the genus *Morganella* (*Lycoperdaceae*). *Fieldiana, Bot.* 34: 27–44. <http://dx.doi.org/10.5962/bhl.title.2567>
- Suárez VL, Wright JE. 1996. South American Gasteromycetes V: The genus *Morganella*. *Mycologia* 88: 655–661. <http://dx.doi.org/10.2307/3761163>
- Trierveiler-Pereira L, Baseia IG. 2009. A checklist of the Brazilian gasteroid fungi (*Basidiomycota*) *Mycotaxon* 108: 441–444. <http://dx.doi.org/10.5248/108.441>
- Veloso HP, Rangel-Filho ALR, Lima JCA. 1991. *Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal*. IBGE, Rio de Janeiro.
- Zeller SM. 1948. Notes on certain Gasteromycetes including two new orders. *Mycologia* 40: 639–668. <http://dx.doi.org/10.2307/3755316>

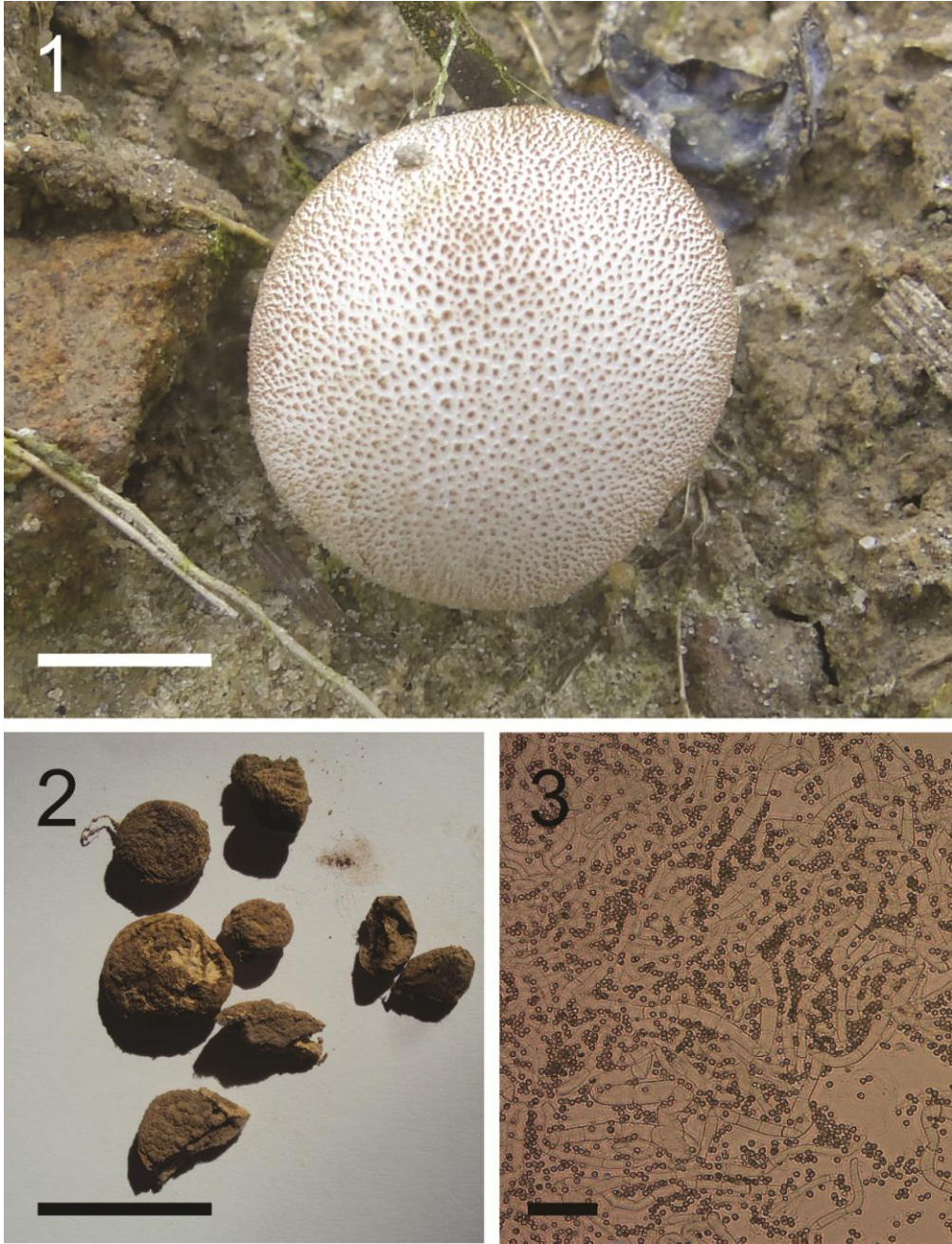


FIGURE 1-3. *Morganella austromontana*. 1. Basidiome in habit. 2. Dried basidiomata. 3. Paracapillitium and basidiopores. Scale bars: Figs.1,2 = 20 mm; Fig.3 = 5 μ m.

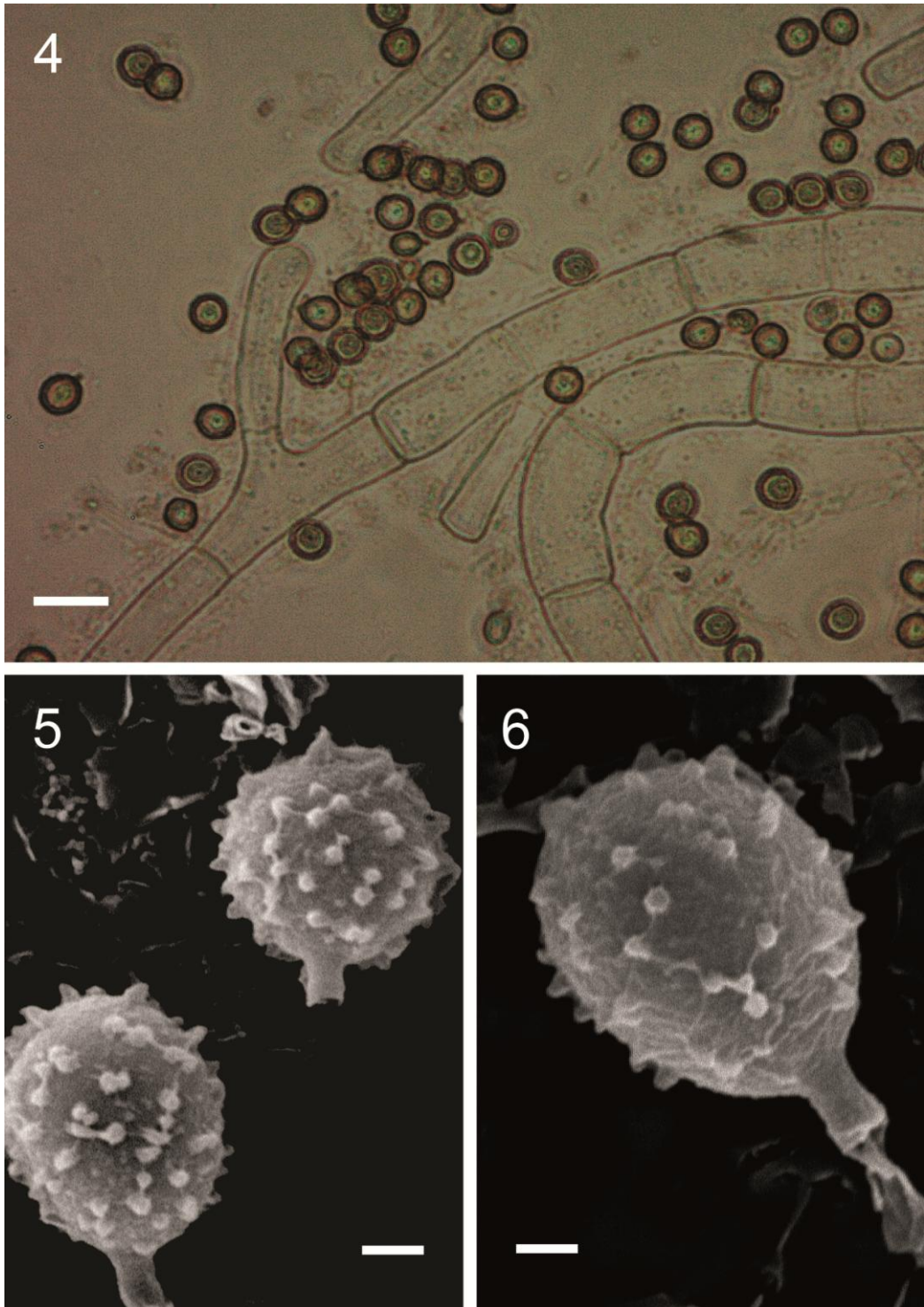


FIGURE 2-6. *Morganella austromontana*. 4. Basidiospores and paracapillitium. 5, 6. Basidiospores under SEM. Scale bars: 5 μ m.

8. Considerações Finais

Embora os macrofungos tenham talvez a maior história de estudos sobre diversidade, quando comparados com outros grupos de fungos; são, no entanto, ainda pouco estudados em grande parte do mundo. Existem mais dados disponíveis para a América do Norte e Europa, do que para qualquer outra região do mundo. Porém, o conhecimento sobre a diversidade de macrofungos ainda é insuficiente mesmo nestas regiões. Isto é devido aos obstáculos taxonômicos (complexos de espécies, por exemplo), a escassez de micólogos treinados, e ao baixo número de trabalhos, rigorosos e de longo prazo, publicados. Isto nos impede de responder conclusivamente a questões básicas sobre o número de espécies de fungos macroscópicos em um local específico ou se a diversidade destes organismos em um local específico é maior em um tipo de floresta do que em outro (Mueller *et al.* 2007). Nesse sentido, desenvolvemos o presente estudo a fim de contribuir no preenchimento das lacunas do conhecimento sobre estudos ecológicos da micota gasteroide, em ecossistemas brasileiros. No entanto, devemos considerar que estamos engatinhando em termos de estudo de diversidade e ecologia de fungos no Brasil e que, portanto, toda contribuição a nível local, regional e nacional é bem vinda para que possamos complementar os estudos sobre o país que detém a maior biodiversidade do mundo.

Neste sentido, no capítulo um da presente tese buscamos caracterizar a micota gasteroide em fragmentos de três ecossistemas pertencentes à Mata Atlântica da Região Sul brasileira. Este estudo contribuiu como uma peça de um complexo quebra-cabeça, que consiste na compreensão da estrutura e dinâmica da micota nas florestas brasileiras, fornecendo novos dados, como espécies indicadoras de fungos gasteroides em áreas de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual. Assim como reforçando o incentivo a conservação desses ecossistemas, severamente explorados e quase extintos no sul do Brasil.

No capítulo dois, propomos uma revisão dos trabalhos relacionados à ecologia de fungos gasteroides já realizados em diversas partes do mundo. No intuito de investigar possíveis padrões de distribuição e fatores ambientais já testados que contribuem na composição e estrutura na comunidade gasteroide nos diferentes ecossistemas onde ocorrem. Pois, acreditamos que trabalhos de revisão seja o primeiro passo para desenvolvermos trabalhos mais densos no futuro, construindo um panorama mais claro das comunidades fúngicas nos ambientes onde se desenvolvem, assim como utilizarmos estas informações também como uma ferramenta para políticas de conservação de áreas ameaçadas.

Por fim, em nosso terceiro capítulo apresentamos a proposta de uma nova espécie de *Morganella*. Até o momento, encontrada somente em áreas de altitude em ambientes de Floresta Ombrófila Mista indicando que, apesar da micota gasteroide desta região do Brasil ser bem conhecida, ainda temos muito por descobrir. Destacamos também, que possíveis novas espécies de *Geastrum* possam ser propostas em breve, como resultado da presente tese.

Ao encerrar este estudo, esperamos ter contribuído de uma maneira efetiva e relevante para os estudos ecológicos da comunidade gasteroide em florestas da Região Sul do Brasil, assim como incentivar novos estudos nas demais regiões brasileiras. Desta forma, acreditamos que micólogos e ecologistas em conjunto possam ampliar e compartilhar o conhecimento sobre o funcionamento da micota de macrofungos (Basidiomycetes) no país. Como perspectiva e proposta de trabalhos futuros, pensamos que seja urgente também começarmos a pensar na identificação de espécies indicadoras de macrofungos, assim como ameaçadas de extinção, com o objetivo de aplicar esse conhecimento em estratégias de manejo e restauração de áreas (conforme realizado em alguns estudos na Europa), principalmente aquelas consideradas prioritárias para conservação como é o caso dos Biomas Pampa e Mata Atlântica, ambos característicos da Região Sul brasileira.

9. Referências Bibliográficas:

- Alfredo DS, Leite AG, Braga-Neto R, Baseia IG. 2012. Two new *Morganella* species from the Brazilian Amazon rainforest. **Mycosphere** 3: 66-71.
- Alves CR, Cortez VG. 2014. Gasteroid *Agaricomycetidae* (Basidiomycota) from Parque Estadual São Camilo, Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Biociências** 12 (1): 27-41.
- Alves CR, Cortez VG. 2016. Gasteroid *Phallomycetidae* (Basidiomycota) from the Parque Estadual São Camilo, Paraná, Brazil. **Iheringia, Serie Botânica** 71 (1): 27-42.
- Arnold EJM. Biogeography and Conservation. 2007. In: **Environmental and Microbial Relationships – The Mycota IV**. 2nd Edition. Kubicek, C. P.; Druzhnina, pp. 338.
- Backes A. 2001. Determinação da idade e regeneração natural de uma população de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em um povoamento florestal localizado no município de Caxias do Sul, RS, Brasil. **Iheringia, Série Botânica** 56: 115-130.
- Baseia IG. 2001. **Gasteromycetes (Basidiomycota) em áreas de cerrado do Estado de São Paulo, Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo. Tese (Doutorado).
- Baseia IG, Galvão, TC. O. 2002. Some interesting gasteromycetes (Basidiomycota) in dry areas from northeastern Brazil. **Acta Botanica Brasilica** 16 (1): 1-8.
- Borba-Silva M, Drechsler-Santos ER, Robledo GL. 2015. Community structure and functional diversity of polypores (Basidiomycota) in the Atlantic Forest of Santa Catarina State, Brazil. **Biotemas** 28(1): 1-11.
- Braga-Neto R, Luizão RCC, Magnusson WE, Zuquim G, Castilho CV. 2008. Leaf litter fungi in a Central Amazonian forest: the influence of rainfall, soil and topography on the distribution of fruiting bodies. **Biodiversity and Conservation** 17: 2701–2712.
- Brooks TM, Mittermeir RA, Mittermeir CG, Da Fonseca GAB, Ryland AB, Konstant WR, Flick P, Pilgrim J, Oldfield S, Magin G, Hilton-Taylor C. 2002. Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. **Conservation Biology** 16 (4): 909-923.
- Buée M, Maurice JP, Zeller B, Adrianarisoa S, Ranger J, Courtecuisse R, Marçais B, Le Tacon F. 2011. Influence of tree species on richness and diversity of epigeous fungal communities in a French temperate forest stand. **Fungal Ecology** 4: 22-31.
- Cairney, JWG, Chambers, SM. 1999. **Ectomycorrhizal fungi: key genera in profile**. Heidelberg: Springer.
- Calonge FD, Moreno-Arroyo B, Gómez J. 2000. Aportación al conocimiento de los Gasteromycetes, Basidiomycotina de Bolivia (America Del Sur). *Geastrum ovalisporum* sp. nov. **Boletín de la Sociedad Micológica de Madrid** 25: 271-276.
- Claridge AW, Cork JS, Trappe J M. 2000. Diversity and habitat relationships of hypogeous fungi. I. Study design, sampling techniques and general survey results. **Biodiversity and Conservation**. 9:151–173.
- Colwell R. 2006. ESTIMATES: Statistical estimate of species richness and shared species from samples, version 8. <http://purl.oclc.org/estimates>.

- Cortez, VG. 2009. **Estudos sobre Fungos Gasteróides (Basidiomycota) no Rio Grande do Sul**. 286 f. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado).
- Cruz RSH, Lima RAA, Braga-Neto R, Baseia IG. 2012. *Cyathus morelensis* a rare bird's nest fungus in the Brazilian Amazon rainforest. **Mycosphere** 3:880-882.
- Dreschsler-Santos R, Santos PJP, Gibertoni TB, Cavalcanti MAQ. 2010. Ecological aspects of *Hymenochaetaceae* in área of Caatinga (semi-arid) in Northeast Brazil. **Fungal Diversity** 42:71–78.
- Dufrene, M., Legendre, P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. **Ecological Monographs** 67: 345–366.
- Esqueda-Valle M, Perez-Silva E, Herrera T, Coronado-Andrade M, Estrada-Torres A. 2000. Composición de gasteromicetos e un gradiente de vegetación de Sonora, México. **Anales Del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México** 71 (2): 39-62.
- Ferrer A, Gilbert G. 2003. Effect of tree host species fungal community composition in a tropical rain forest in Panama. **Diversity and Distribution** 9: 455-468.
- Fontana CS, Bencke GA, Reis RE. 2003. **Livro Vermelho da Fauna Ameaçada de Extinção no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EDIPUCRS. pp 632.
- Gibertoni TB, Santos PJP, Cavalcanti MAQ. 2007. Ecological aspects of *Aphilophorales* in the Atlantic Rain Forest in Northeast Brazil. **Fungal Diversity** 25: 49-67.
- Gibertoni T B, Nogueira-Melo GS, De Lira CRS, Baltazar, JM, Santos, PJP. 2015. Distribution of poroid fungi (Basidiomycota) in the Atlantic Rain Forest in Northeast Brazil: implications of conservation. **Biodiversity and Conservation** 24: 2227–2237.
- Gomez-Hernandez M., Williams-Linera G. 2011. Diversity of macromycetes determined by tree species, vegetation structure, and microenvironment in tropical cloud forests in Veracruz, Mexico. **Botany** 89: 203–216.
- Griffith GW, Roderick K. 2008. Saprotrophic basidiomycetes in grasslands: distribution and function. In: **Ecology of Saprotrophic Basidiomycetes**. cap. 15, Ed. Elsevier, London. p 277–299.
- Hawksworth DL. 2001. The magnitude of fungal diversity: the 1, 5 million species estimate revisited. **Mycological Research**. 105:1422-1432.
- Hättenschwiler S, Tiunov AV, Scheu S. 2005. Biodiversity and Litter Decomposition in Terrestrial Ecosystems. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst** 36:191–218
- Heilmann-Clausen J, Vesterholt J. 2008. Conservation: selection criteria and approaches. In: **Ecology of Saprotrophic Basidiomycetes**. cap. 17, Ed. Elsevier, London. p 325–347.
- Hibbett DS. 2006. A phylogenetic overview of the Agaricomycotina. **Mycologia** 98: 917-925.
- Hijmans R, Cameron S, Parra J, Jones P, Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal Climatolgy** 25: 1965– 1978
- IAP – Instituto Ambiental do Paraná. 2006. Plano de Manejo do Parque Estadual de São Camilo. Curitiba. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/pagina-1216.html> . Acesso: 05 fev. 2017.

- ICMbio. 1999. Plano de Manejo do Parque Nacional do Iguaçu. Disponível em: http://www.cataratasdoiguacu.com.br/manejo/siuc/planos_de_manejo/pni/html/index.htm. Acesso em: 05 de agosto de 2014.
- ICMbio. 2014a. Plano de Manejo da Fazenda Palmital. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-planos-de-manejo/rppn_fazenda_palmital_pm.pdf. Acesso em: 05 de agosto de 2014.
- ICMbio. 2014b. PARNA São Joaquim. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/parnasaojoaquim/guia-do-visitante.html>. Acesso em: 05 de agosto de 2014.
- ICNF. 2017. Instituto de Conservação da Natureza: Convenção de Berna. Disponível em: <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ei/berna>. Acesso em: 24 de janeiro de 2017.
- Karstedt F, Stürmer, SL. 2008. Agaricales em Florestas Ombrófila Densa e plantações de *Pinus* no Estado de Santa Catarina, Brasil. **Acta Botânica Brasílica** 22(4): 1036-1043.
- Kirk PM, Cannon PF, Minter DW, Stalpers JA. 2008. **Dictionary of the Fungi**. 10th ed. Wallingford: CABI Publ. pp. 771.
- Klein, RM. 1960. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia** 12: 17-44.
- Klein RM. 1984. Aspectos dinâmicos da vegetação do sul do Brasil. **Sellowia** 36: 5-54.
- Kornerup A, Wanscher JH. 1978. **Methuen handbook of colour**. 3rd ed. London: Eyre Methue, pp. 243.
- Kruskal JB. 1964. Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method. **Psychometrika** 29: 115 – 129.
- Leite AG, Calonge FD, Baseia IG. 2007. Additional studies on *Geastrum* from Northeastern Brazil. **Mycotaxon** 101: 103-111.
- Meijer AAR. 2006. Preliminary list of the macromycetes from the Brazilian state of Paraná. **Boletim do Museu Botânico Municipal** 68:1-55.
- Meijer AAR. 2010. Preliminary list of the macromycetes from the Brazilian state of Paraná: corrections and updating. **Boletim do Museu Botânico Municipal** 72:1-9.
- Miller OK, Miller HH. 1988. **Gasteromycetes: morphological and developmental features**. Eureka: Mad River, pp.156.
- Mueller GM, Schmit JP, Leacock PR, et al. 2007. Global diversity and distribution of macrofungi. **Biodiversity and Conservation** 16: 37-48.
- Mittermeier RA, Myers N, Thomsen JB. 1998. Biodiversity hotspots an major tropical wilderness areas: Approaches to setting conservation priorities. **Conservation Biology** 12(3): 516-520.
- Nouhra ER, Dominguez LS, Graciela GD, Longo S, Trappe J M, Claridge AW. 2008. Ocorrência de ectomicorriza, hipogêicas fungos em plantação de espécies exóticas de árvores em central Argentina. **Mycologia** 100 (5): 752–759.
- Nouhra ER, Urcelay C, Longo MS, Fontela, S. 2012. Differential hypogeous sporocarp production from *Nothofagus dombeyi* and *N. pumilio* forests in southern Argentina. **Mycologia** 104 (1): 45-52.

- Olsson PA, Schnoor TK, Hanson S-A. 2010. pH preferences of red-listed gasteromycetes in calcareous sandy grasslands: Implications for conservation and restoration. **Fungal Ecology** 3: 357-365.
- Overbeck G, Podgaiski LR, Müller SC. 2015. Biodiversidade dos Campos. In: **Os Campos do Sul**, cap. 4, Ed. Valério Patta Pillar e Omara Lange – UFRGS, Porto Alegre, 43-50.
- Pegler DN, Laessoe T, Spooner B. 1995. British puffballs, earthstars and stinkhorns. **London: HMSO/Royal Botanic Gardens**, Kew.
- Piña-Páez C, Esqueda M, Gutierrez A, Gonzáles-Ríos H. 2013. Diversity of gasteroid fungi in the Sierra de Mazatán, Sonora, México. **The Southwestern Naturalist** 58 (3): 351-356.
- Rick J. 1961. Basidiomycetes Eubasidii in Rio Grande do Sul. Brasília. 6. **Iheringia, Série Botânica** 9: 451-480.
- R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2014. <http://www.R-project.org> (accessed Jun 2016)
- Rezende CL, Uezu A, Scarano FR, Araujo DSD. 2015. Atlantic Forest spontaneous regeneration at landscape scale. **Biodiversity and Conservation** 25: 2255-2272.
- Roderjan CV, Galvão F, Kuniyoshi YS, Hatschbach GG. 2002. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. **Revista Ciência e Ambiente** 25: 75-92.
- Sevegnani L, Gasper AL, Bonnet A, Sobral MG, Vibrans A C, Verdi M, Santos AS, Dreveck D, Korte A, Schmitt J, Cadorin T, Lopes CP, Caglioni E, Torres JF, Meyer L. 2013. Flora vascular da Floresta Ombrófila Densa em Santa Catarina. In: **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina**, cap.4, v.4, Ed. Edfurb, Blumenau, 127-139.
- Sbroglia, RM, Beltrame AV. 2012. O zoneamento, conflitos e recategorização do Parque Municipal da Lagoa do Peri, Florianópolis/SC. **Boletim de Geografia** 30 (1): 5-18.
- Sonego RC, Backes A, Souza AF. 2007. Descrição da estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil, utilizando estimadores não paramétricos de riqueza e rarefação de amostras. **Acta Botânica Brasileira** 21 (4): 943-955.
- SOS Mata Atlântica. 2015. Mata Atlântica. <https://www.sosma.org.br>. Acesso: 06 Out. 2015.
- Tedersoo L, Bahram M, Pölme S, *et al.* 2016. Global diversity and geography of soil fungi. **Science** 346: p.1078.
- Trierveiler-Pereira L, Santos PJP, Baseia IG. 2013. Ecological aspects of epigeous gasteromycetes (Agaricomycetes, Basidiomycota) in four remnants of the Brazilian Atlantic Forests. **Fungal Ecology** 6: 471-478.
- Trierveiler-Pereira L. 2014. **Estudos morfológicos e moleculares de Phallales e Geastrales (Phallomycetidae, Agaricomycetes), com ênfase em espécies da Região Sul do Brasil**. 234 f. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado).
- Urcelay, C, Robledo G. 2009. Positive relationship between wood size and basidiocarp production of polypore fungi in *Alnus acuminata* forest. **Fungal Ecology** 2: 135-139.
- Veloso HP, Rangel Filho ALR, Lima JCA. 1991. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE/PROJETO RADAMBRASIL. 112 p.
- Zhang ,Y., Zhou, D. Q., Zhao, Q., Zhou, T. X., Hyde, K. D. 2010. Diversity and ecological distribution of macrofungi in the Laojun Mountain region, southwestern China. **Biodivers Conserv** 19, 3545-3563.

10.Anexo



Mycosphere
www.mycosphere.org
Copyright © 2014

Article

ISSN 2077 7019
Mycosphere
Online Edition

The genus *Blumenavia* (Clathraceae, Phallales)

Trierweiler-Pereira L^{1*}, Alves CR^{2*} and Silveira RMB

Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil.
¹Lt_pereira@yahoo.com.br, ²camila_biograndensis@hotmail.com

*both authors contributed equally to this study and should be considered co-first authors.

Trierweiler-Pereira L, Alves CR, Silveira RMB 2014 – The genus *Blumenavia* (Clathraceae, Phallales). Mycosphere X(x), xxx–xxx, Doi

Abstract

In this manuscript we present descriptions, comments, illustrations, color photographs and a key to identify the two known species of *Blumenavia*: *B. rhacodes* and *B. angolensis*. Both species occur in Southern Brazil and the presented data are based on recently collected and herbarium specimens. *Blumenavia angolensis* is reported for the first time from the States of Santa Catarina and Rio Grande do Sul (Southern Brazil).

Key words – Gasteromycetes – *Laternea* – lattice stinkhorns – Neotropical fungi – Phallaceae.

Introduction

Blumenavia Möller is a curious clathroid genus described from Southern Brazil at the end of the 19th century (Möller 1895). Its etymology is dedicated to the city Blumenau, where the German naturalist Alfred Möller lived and studied phalloid fungi from 1890 to 1893 (Stafleu & Cowan 1983). This genus is differentiated from other clathroids due to the unique morphology of the receptacle, since the gleba is not spread in the inner surface of the columns (or receptacle) or concentrated in droplets glebifers. Instead, the gleba is concentrated on lateral projections and lacerations from the columns, also called ‘wings’ and ‘teeth’ by some authors.

Lloyd (1909) reduced *Blumenavia* to a synonym of *Laternea* Turpin, a position followed by Rick (1929, 1961); however, most authors continued treating the genus independently (Fischer 1933, Dennis 1953, Dring 1980, López et al. 1981, Miller & Miller 1988, Domínguez de Toledo 1995). Recent molecular studies have shown that *Blumenavia* is phylogenetically closely related to *Laternea* (Degreef et al. 2013, Trierweiler-Pereira et al. 2014) but more sequences of both genera must be included in further analysis to clarify the independence of those.

To date, four species have been described for the genus: *B. rhacodes* Möller (type species), *B. angolensis* (Welw. & Curr.) Dring (from Africa, but also known from South America), *B. usambarensis* Henn. (from Africa) and *B. toribiotapaensis* Vargas-Rodr. (from Mexico). Calonge et al. (2007) reduced the latter to a synonym of *B. rhacodes* and *B. usambarensis* is synonym with *B. angolensis* (Dring 1980).

In Southern Brazil, the two currently accepted *Blumenavia* species are not difficult to find in the field, but since their receptacles are so fragile and ephemeral, especially in *B. angolensis*, they have been considered rare species. The aim of this study is to present full descriptions, comments and illustrations of both species and clearly mark the morphological differences between them.

Submitted xxxx, Accepted xxxx, Published online xxxx

Corresponding Author: Larissa Trierweiler-Pereira – e-mail – Lt_pereira@yahoo.com.br

1

Materials & Methods

Field expeditions have been carried in the three States of Southern Brazil (Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul) and also specimens from herbaria ICN, FLOR, PACA, MBM, and BPI were consulted (Thiers 2011). Whenever possible, basidiomata were photographed in the field, and later were slowly dried in laboratory using a food dehydrator (at least for 24 hours).

Specimens were examined according to traditional techniques on gasteromycetes taxonomy (Miller & Miller 1988). Colors were coded according to Komerup & Wanscher (1978).

Results

Blumenavia angolensis (Welw. & Curr.) Dring, *Kew Bull.* 35(1): 53 (1980). Figs 2, 3B
= *Laternea angolensis* Welw. & Curr., *Trans. Linn. Soc. London* 26: 286 (1870).
= *Blumenavia usambarensis* Henn., *Bot. Jb.* 33: 37 (1902).

Unexpanded basidiomata ('eggs') not observed. Basidiomata solitary, 4–6 cm high. Volva 0.8–1 cm high × 1–1.5 cm in diam., pale grey (1B1) to brownish grey (5C2), with debris adhered to the surface and a thin mycelial strand attached at the base. Receptacle pure white when fresh (4A3) and light brown (5D5) when dried, fragile, spongy, with pores on the outer surface (pores internally occluded), formed by four columns, united at the apex and free below; columns 0.3–0.8 cm in diam. in the largest dimension; subtriangular to subglobose in transversal section, multi-tubular, composed of 4–5 tubes, not interconnected. Angle between the inner face and outer face of the columns is marked by a line of delicate teeth, which are covered with glebal mass. Gleba gelatinous, olive brown (4F4), fetid. Basidiospores cylindrical, usually attenuate at one side, 4 × 2 µm, smooth, faintly greenish tinted. Volva's exoperidium formed by pseudoparenchymatous hyphae, 25–45 × 15–35 µm in diam., yellowish to hyaline, with large, greenish crystals rosette arrangements inside. Receptacle formed by pseudoparenchymatous hyphae, hyaline, 30–40 × 20–35 µm in diam., globose, subglobose to elongate; lateral projections ('teeth') also pseudoparenchymatous.

Habitat – growing on wood and other plant debris, on forest litterfall.

Known distribution – Tropical: Africa (Angola – Welwitsch & Currey 1870; São Tomé – Degreef et al. 2013) and South America (Brazil – Meijer 2006).

Material examined – Brazil, State of Paraná, Antonina, Reserva Natural do Rio Cachoeira, 17 Aug 2005, A.A.R. de Meijer 4339 (MBM); Santa Catarina, Florianópolis, Unidade de Conservação Desterro (UCAD), 9 Nov 2013, A.C. Magnago 816 (FLOR 51619); State of Rio Grande do Sul, São Francisco de Paula, FLONA de São Francisco de Paula, 8 Feb 2014, C.R. Alves 143 (ICN 177268); *ibid.*, 13 Apr 2014, A.C. Magnago 1049 (ICN 177269).

Blumenavia rhacodes Möller, *Bot. Mitt. Trop.* 7: 57 (1895). Figs 1, 3A
= *Blumenavia toribiotalpaensis* Vargas-Rodr., in Vargas-Rodríguez & Vázquez-García, *Mycotaxon* 94: 8 (2006) [2005]

Unexpanded basidiomata ('eggs') globose to depressed globose, 1.5–3.5 cm diam., dirty white, grayish (2B1) to black. Basidiomata solitary or in small groups, 9–13 cm high. Volva 2.5–3.5 cm high, with the same morphological features as the immature stages. Receptacle formed by three to five robust columns that are free at the base and united above, columns 1–2 cm in diam. in the largest dimension, pastel yellow (1A4) to pale yellow (1A3), with a spongy texture and some larger pores on the outer surface (but pores are internally occluded); trapezoid in transversal section, multi-tubular, composed of 8–10 tubes, not interconnected, with the widest tube on the adaxial face. Gleba mucilaginous, olive (2F5), fetid, spread on lateral projection or lacerations of the receptacle's columns. Basidiospores cylindrical, usually attenuate at one side, 3.5–4.5 × 1–1.5 µm, smooth, faintly greenish tinted. Volva's exoperidium formed by pseudoparenchymatous hyphae, up to 70 µm in diam., yellowish to hyaline, many of them with large crystals rosette arrangements inside; endoperidium formed by hyaline hyphae, simple septate, thin-walled.

Receptacle formed by pseudoparenchymatous hyphae, up to 40 µm in diam., hyaline; lateral projections also pseudoparenchymatous.

Habitat – on rotten wood inside forest and shady places.

Known distribution – Neotropical: Southern Brazil (Möller 1895, Rick 1929, Trierveiler-Pereira et al. 2014), Northeastern Brazil (Rodrigues & Baseia 2013, as *B. angolensis*), Argentina (Domínguez de Toledo 1995), and Mexico (López et al. 1981, Vargas-Rodríguez & Vázquez-García 2005, Calonge et al. 2007).

Material examined – Brazil, State of Rio Grande do Sul, São Leopoldo, 1906, J. Rick (PACA-FR 12550); *ibid.*, 1907, J. Rick (PACA-FR 12552); *ibid.*, J. Rick (BPI 703249); Porto Alegre, Morro Santana, 17 May 2011, L. Trierveiler-Pereira 230 (ICN 176968); *ibid.*, 31 May 2011, L. Trierveiler-Pereira 247 (ICN 176969); *ibid.*, Campus da UFRGS, 01 Apr 2014, E.P. Fazolino 164 (ICN 177266); *ibid.*, 02 Apr 2014, E.P. Fazolino 165 (ICN 177267); Mexico, Jalisco, Talpa de Allende, 10 Sep 2002, Vargas-Rodríguez et al. 240 (BPI 870955, type of *Blumenavia toribiotalpaensis*).

Discussion

The two *Blumenavia* species can be differentiated due to size and coloration of basidiomata. *Blumenavia rhacodes* has more robust, large basidiomata (up to 13 cm high), while *B. angolensis* is fragile and small (up to 6 cm). Moreover, the first has yellowish, robust columns (1–2 cm in diam.) and the latter has pure white (when fresh), narrower columns. In both species, the columns might be separated at the apex when the basidiome is old (also depicted by Degreef et al. 2013).

There are descriptions of *B. rhacodes* having orange columns, but probably they refer to misidentifications of *Clathrus columnatus* Bosc. According to our field experience, *Blumenavia* species are never orange. One collection of *B. rhacodes* from Trinidad was reported to have white receptacle (Dennis 1953), so we cannot ascertain its identity, especially because measurements of receptacle and columns were not provided.

After our experience of observing several basidiomata in the field, we can ascertain that morphological features that are not constant and should not be taken into account to separate *Blumenavia* species are: color of immature basidiomata and/or volva (note whitish volva in Fig. 1A and blackish volva in the Figs. 1B and 1D), and distribution of the gleba. In both species the immature stages might be whitish, grayish or blackish. More commonly the eggs are initially white, and then they become dark and cracked.

The gleba might be distributed all along the columns, but it might not be present when the basidiomata are found (maybe the receptacle is too young, or the gleba was washed out or removed by insects). We have seen typical specimens of *B. rhacodes* with gleba concentrated on the upper half of the columns, and we have seen basidiomata of *B. angolensis* where the lateral projections were evident but no mucilaginous gleba was visible in the ‘teeth’ (Fig. 2A). The original illustration of *B. angolensis* (Welwitsch & Currey 1870) shows the gleba concentrated in the upper part of the columns, but we can ascertain that in this species this feature is not constant.

Key to *Blumenavia* species

1. Basidiomata robust, 9–13 cm high, columns up to 2 cm in wide when fresh, receptacle light yellow.....*B. rhacodes*
- 1'. Basidiomata delicate, 4–6 cm high, columns up to 0.5 cm in wide when fresh, receptacle pure white.....*B. angolensis*

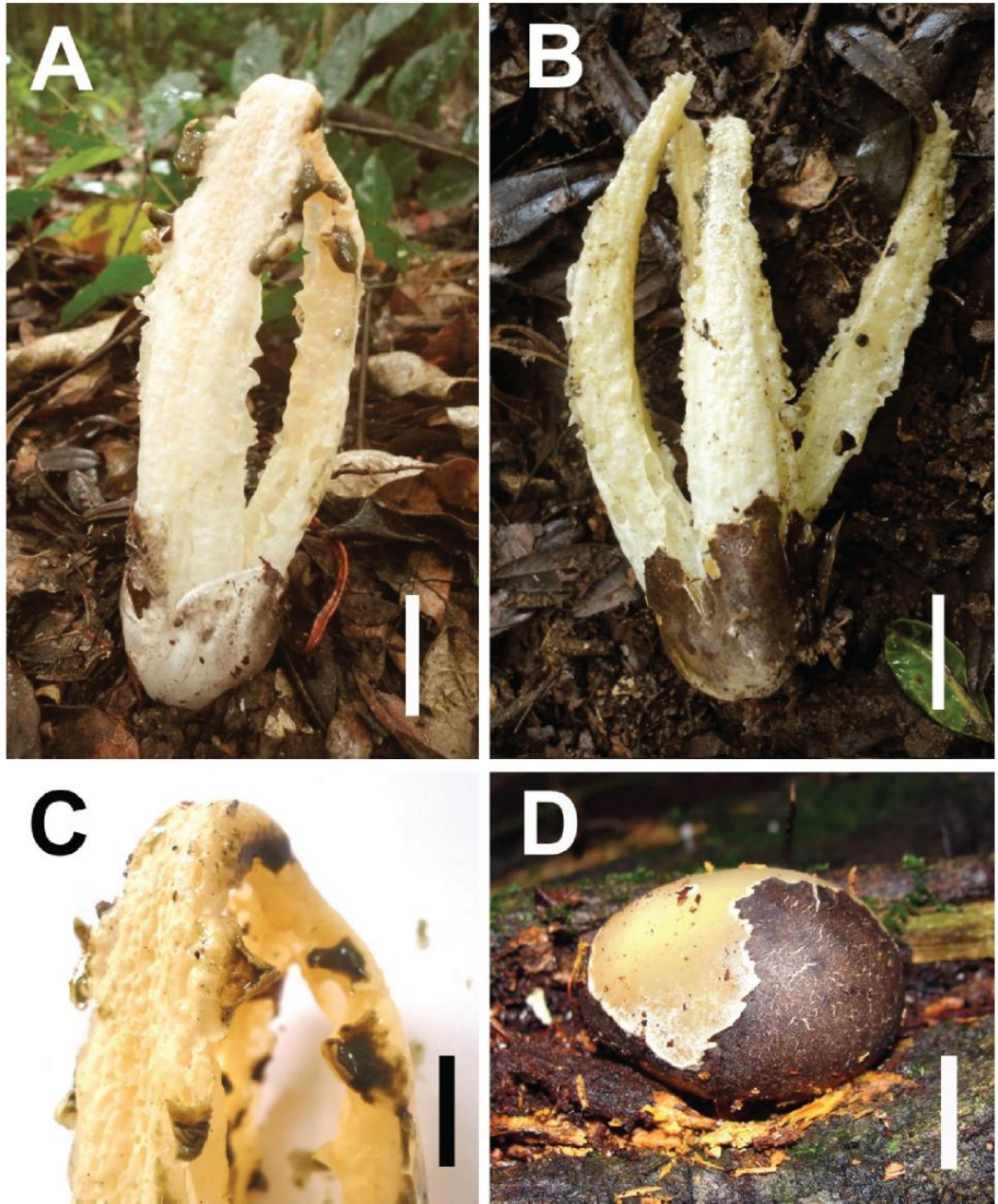


Figure 1 – *Blumenavia rhacodes*. A Basidiome *in situ* (ICN 177266). B Old basidiome with columns detached at the apex (ICN 177267). C Detail of the columns' apex (ICN 177266). D Immature basidiome about to expand (ICN 176968). – Bars A–B = 2 cm; C–D = 1 cm. Photographs A–C by E.P. Fazolino.

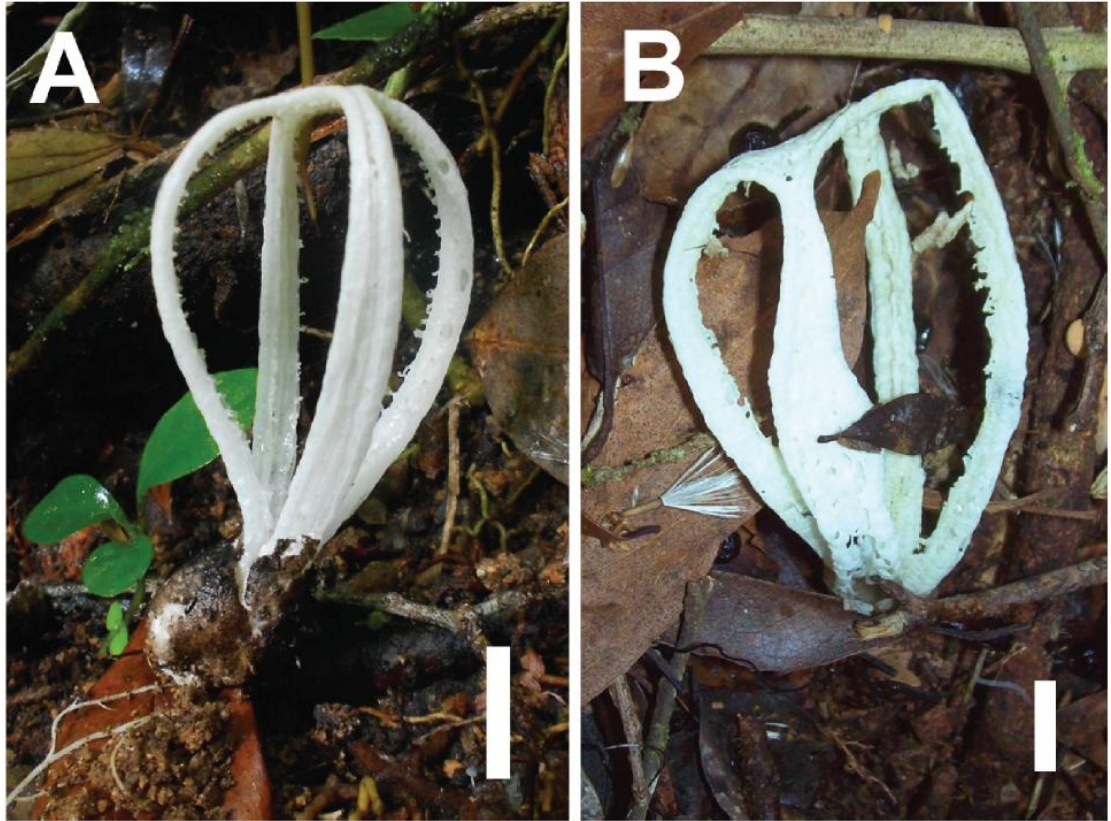


Figure 2 – *Blumenavia angolensis* in situ. A Specimen FLOR 51619. B Specimen ICN 177268. – Bars = 1 cm. Photograph A by A.C. Magnago.

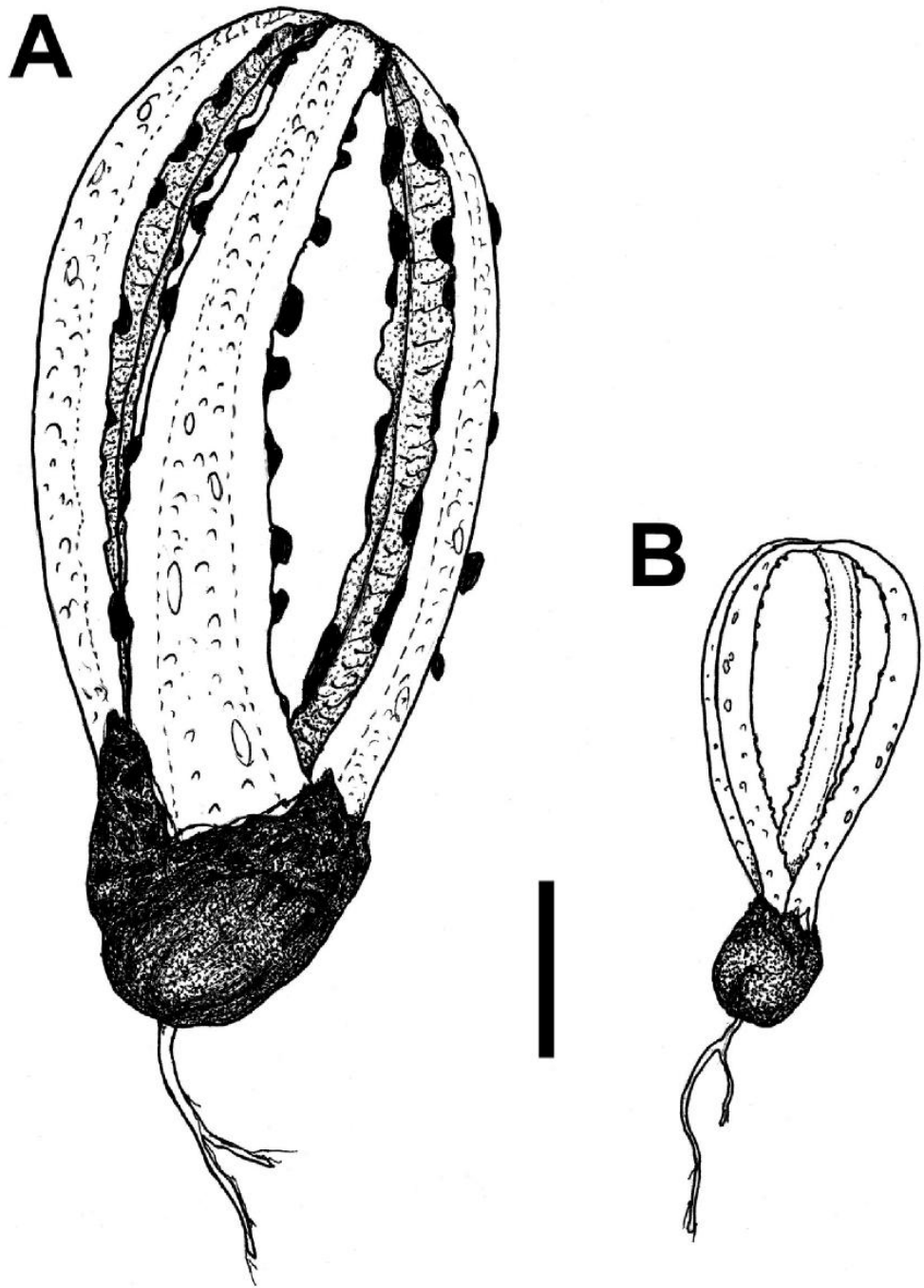


Figure 3 – *Blumenavia* species. A *Blumenavia rhacodes* B *Blumenavia angolensis*. – Bar = 2 cm.

Acknowledgements

The authors are grateful to André A.R. de Meijer, Altielys C. Magnago and Eduardo P. Fazolino for supplying specimens, photographs, and/or information about the species. The co-first authors acknowledge CAPES (Brazilian Federal Agency for the Support and Evaluation of Graduate Education) for Ph.D. fellowships; LTP is thankful to PROPG-UFRGS for financing her visit to Herbarium BPI ('Edital 001/2013 – Missão Científica de Curta Duração no Exterior').

References

- Calonge FD, Guzmán G, Ramírez-Guillén F, Gándara E. 2007 – Adiciones al catálogo de Gasteromycetes de México, con referencia especial a los géneros *Blumenavia* y *Tulostoma*. Boletín de la Sociedad Micológica de Madrid 31, 151–155.
- Degreef J, Amalfi M, Decock C, Demoulin V. 2013 – Two rare Phallales recorded from São Tomé. Cryptogamie, Mycologie 34(1), 3–13.
- Dennis RWG. 1953 – Some West Indian gasteromycetes. Kew Bulletin 8(3), 307–328.
- Domínguez de Toledo, LS. 1995 – Gasteromycetes (Eumycota) del centro y oeste de la Argentina. II. Orden Phallales. Darwiniana 33(1–4), 195–210.
- Dring DM. 1980 – Contributions towards a rational arrangement of the Clathraceae. Kew Bulletin 35, 1–96.
- Dring DM, Rayner RW. 1967 – Some gasteromycetes from Eastern Africa. Journal of East African Natural History 26, 5–46.
- Fischer E. 1933 – Gastromyceteae Staheliana. Annales Mycologici 31(3), 113–125.
- Kornerup A, Wanscher JH. 1978 – Methuen handbook of colour. 3rd Ed. Eyre Methuen, London.
- López A, Martínez AL, García J. 1981 – Adiciones al conocimiento de los Phallales del estado de Veracruz. Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología 16, 109–116.
- Lloyd CG. 1909 – Synopsis of the known phalloids. Mycological Writings 3, 1–96.
- Meijer AAR 2006 – Preliminary list of the macromycetes from the Brazilian State of Paraná. Boletim do Museu Botânico Municipal, Curitiba 68, Edição Especial, 1–55.
- Miller Jr. OK, Miller HH. 1988 – Gasteromycetes: morphological and development features with keys to orders, families, and genera. Mad River Press, Eureka.
- Möller A. 1895 – Brasilische Pilzblumen. Botanische Mitteilungen aus den Tropen 7, 1–152.
- Rick J. 1929. Phalloideas riograndenses. Egatea 14, 299–305.
- Rick, J. 1961 – Basidiomycetes Eubasidii in Rio Grande do Sul – Brasilia 6. Iheringia, Série Botânica 9, 451–479.
- Rodrigues ACM, Baseia IG. 2013 – *Blumenavia angolensis* (Clathraceae), a rare phalloid reported from Northeastern Brazil. Mycosphere 4(6), 1066–1069.
- Stafleu FA, Cowan RS. 1983 – Taxonomic literature. 2nd ed., Vol. IV. Bohn, Scheltema & Holkema, Utrecht.
- Thiers B. 2011 [continuously updated] – Index Herbariorum: a global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. <http://sweetgum.nybg.org/ih/> (accessed 17 September 2013).
- Trierveiler-Pereira L, Silveira RMB, Hosaka K. 2014 – Multigene phylogeny of the Phallales (Phallomycetidae, Agaricomycetes) focusing on some previously unrepresented genera. Mycologia (in press).
- Vargas-Rodríguez YL, Vázquez-García JA. 2005 – *Blumenavia toribotalpaensis*: a new species of Clathraceae from Jalisco, Mexico. Mycotaxon 94, 7–14.
- Welwitsch F, Currey F. 1870 – Fungi Angolenses. A description of the fungi collected by Dr. Friedrich Welwitsch in Angola during the years 1850-1861. Part I. Transactions of the Linnean Society of London 26, 279–294.

